

Aus dem Zoologischen Garten Leipzig und der
Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Sabine Hilsberg

aus Berlin

Leipzig, 2000

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Jürgen Gropp

Betreuer: Prof. Dr. Klaus Eulenberger

Gutachter: Prof. Dr. Klaus Eulenberger, Zoologischer Garten Leipzig und
Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig, Leipzig

Prof. Dr. Axel Sobiraj, Ambulatorische und Geburtshilfliche Tierklinik,
Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig, Leipzig

Prof. Dr. Ewald Isenbügel, Abteilung für Zoo- und Heimtiere,
Veterinärmedizinische Klinik der Universität Zürich, Zürich, Schweiz

Tag der Verteidigung: 29. Mai 2001

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.0 Einleitung	1
Intention der Arbeit.....	1
Zur Historie.....	2
Infrarot-Thermographie in der Veterinärmedizin.....	3
Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin.....	6
Thematik der Arbeit.....	7
Hypothese 1: Thermoregulation.....	8
Hypothese 2: Trächtigkeitsuntersuchung.....	8
Hypothese 3: Entzündungsdiagnostik.....	8
 2.0 Thermoregulation bei Tieren - Literaturübersicht	 9
 3.0 Physikalische Grundlagen der Thermographie	 20
3.1 Infrarot-Strahlung.....	20
3.2 Das Infrarot-Meßsystem.....	22
Die Optik.....	22
Detektoren.....	22
Signalverarbeitung.....	24
Systemparameter.....	24
 4.0 Tiere, Material und Methoden	 25
4.1 Tierarten, Untersuchungsorte und Ausrüstung	25
Tierarten und Bildzahlen.....	25
Untersuchungsorte mit „Kurzbezeichnungen“.....	25
Infrarot-Kameras.....	25
4.2 Vorgehensweise bei Infrarot-Untersuchungen.....	26
Voraussetzungen.....	26
Messung.....	26
Meßprotokoll.....	29
Bildbearbeitung.....	29
4.3 Beispiele von Fehlerquellen beim Thermographieren	31
Technische Fehlerquellen.....	31
Biologische Fehlerquellen.....	32
 5.0 Untersuchungen zur allgemeinen und pathologischen Thermoregulation bei Zoo- und Wildtieren mittels Infrarot-Thermographie	 33
5.1 Ergebnisse - Fallbeispiele.....	33
Elefanten.....	33
Wärmestau bei Asiatischen Elefanten.....	34
Thermoregulation bei Sonneneinstrahlung.....	36
Auswirkung von Stress auf die Thermoregulation.....	36
Pferde.....	37
Zebras.....	38

	Seite
Tapire und Nashörner.....	39
Thermoregulation bei Neugeborenen und juvenilen Nashörnern ..	40
Thermoregulation in der Paarungszeit	41
Rinder	42
Antilopen.....	43
Giraffen	44
Kamele	45
Hirsche	46
Bären	50
Katzen- und Hundeartige	52
Primaten	53
Vögel.....	54
 5.2 Diskussion zu den Untersuchungen zur allgemeinen und pathologischen Thermoregulation bei Zoo- und Wildtieren mittels Infrarot-Thermographie	 57
Elefanten	58
Pferdeartige	61
Tapire und Nashörner.....	63
Rinderartige.....	65
Antilopen.....	67
Giraffen	68
Kamele	69
Hirsche	70
Bären	71
Katzen- und Hundeartige	72
Primaten	73
Vögel.....	73
 6.0 Trächtigkeitsuntersuchungen mittels Infrarot-Thermographie.....	 75
6.1 Ergebnisse - Fallbeispiele.....	75
Spitzmaulnashorn.....	75
Breitmaulnashorn	84
Panzernashorn	86
Asiatischer Elefant	86
Giraffe	91
Grevy-Zebra	97
Hirscheber	99
Zwergesel	100
Zwergflußpferd	100
Südafrikanische Oryxantilope.....	100
 6.2 Diskussion zu den Trächtigkeitsuntersuchungen mittels Infrarot-Thermographie	 101
Nashörner	102
Elefanten	105
Giraffen	107
Weitere Tierarten	108

	Seite
7.0 Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie	111
7.1 Ergebnisse - Fallbeispiele	111
A) Gelenkerkrankungen	111
B) Traumatologie	113
C) Nagelbettentzündung	116
D) Erkrankungen mit Hautbeteiligung	119
E) Infektionskrankheiten	121
F) Technopathien	123
G) Geschlechtsapparat	124
7.2 Diskussion zur Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie	125
Störungen im Bewegungsapparat	126
Traumatologie	128
„Hufkrebs“	130
Erkrankungen mit Hautbeteiligung	131
Infektionskrankheiten	132
Technopathien	133
Gynäkologie	134
8.0 Infrarot-Thermographie in der Wildtierforschung und Wildtiermedizin: Erste Erfahrungen	136
8.1 Thermoregulation: Forschung an Löwen der Serengeti	136
Einleitung	136
Material und Methoden	137
Ergebnisse	138
Diskussion	139
8.2 Trächtigkeitsuntersuchungen bei „wilden“ Nashörnern	139
Einleitung	139
Material und Methoden	139
Ergebnisse	140
Diskussion	140
8.3 Entzündungsdiagnostik bei Wildtieren	141
Einleitung	141
Material und Methoden	142
Ergebnisse	142
Diskussion	143
9.0 Abschlußdiskussion und Ausblick	144
Allgemeines	144
Thermographie in der Thermoregulationsforschung	146
Thermographie in der Reproduktionsmedizin	147
Thermographie in der Elefantenhaltung	147
Fragen-Beispiele für künftige Untersuchungen	147
Untersuchungen an Zootieren	148
Untersuchungen an Wildtieren	149

	Seite
10.0 Schlußfolgerungen	150
Allgemeines	150
Allgemeine und pathologische Thermoregulation.....	152
Reproduktionsmedizin	152
Entzündungsdiagnostik	153
Einsatz bei Wildtieren in freier Wildbahn	153
11.0 Zusammenfassung	154
11.1 Summary	156
12.0 Literaturverzeichnis	158
Danksagung	180
Anhang	
Anhang 1: Liste der Abbildungen	181
Anhang 2: Liste der insgesamt untersuchten Tierarten.....	188
Anhang 3: Vor- und Nachteile der Infrarot-Thermographie.....	193
Erklärung zur Veröffentlichung von Teilergebnissen	194

1.0 Einleitung

Die Infrarot-Thermographie beruht auf der Beobachtung, daß Körper entsprechend ihrer Temperatur elektromagnetische Wellen abstrahlen. Diese sind im Infrarot-Bereich mittels spezieller Detektoren meßbar. Auf diese Weise kann die Oberflächentemperatur des strahlenden Körpers aus der Distanz bestimmt werden (GAUSSORGUES 1994).

Die Infrarot-Thermographie wurde zunächst für den militärischen/polizeilichen Bereich und für die Bauindustrie entwickelt (GAUSSORGUES 1994). Wichtige Anwendungsgebiete sind u.a. die Bildgebung bei Nacht zur Ortung von militärischen Stützpunkten oder gesuchten Personen auch über große Distanzen, die Überprüfung von Gebäuden bzgl. Wärmedämmung und Bemessung von Wasserschäden sowie in der Umwelttechnik die Erkennung von Gewässerverschmutzungen (BREUCKMANN 1993, GAUSSORGUES 1994). Die Liste der Anwendungsgebiete erweitert sich ständig.

Nicht zuletzt infolge des enormen technischen Fortschritts in der Entwicklung von Infrarot-Kameras hat die Thermographie seit einiger Zeit verstärkt auch in der Biologie, Medizin und Veterinärmedizin Eingang und vielseitige Anwendung erfahren.

Intention der Arbeit

Der vorliegenden Arbeit liegt die Frage zugrunde, ob und inwieweit sich nach bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen Möglichkeiten abzeichnen, die Infrarot-Thermographie auch in der Zoo- und Wildtiermedizin einzusetzen bzw. in welcher Richtung und mit welchen Schwerpunkten die Forschung vorangetrieben werden sollte.

Physiologische, pathophysiologische und pathologische Reaktionen auf unterschiedliche Noxen gehen beim Säugetier häufig mit lokalen oder generellen Temperaturveränderungen einher (HARTMANN & MEYER 1994, JESSEN 2000). Eine Temperaturerhöhung oder -erniedrigung oder der Temperaturkurvenverlauf können dem Tierarzt wichtige diagnostische Hinweise auf den Allgemeinzustand des Tieres und auf verursachende Erkrankungen geben oder zur Beurteilung von Krankheitsverläufen herangezogen werden.

Die konkreten Fragen lauten also: Inwieweit kann die Infrarot-Thermographie mit der Messung allgemeiner oder lokaler Temperaturveränderungen an der Körperoberfläche als diagnostisches Mittel bzw. Hilfsmittel sinnvoll eingesetzt werden? Welchen Aussagewert hätten solche Befunde für den Tierarzt oder auch Biologen für ihre Arbeit mit Zoo- und Wildtieren? Welche grundlegenden Vorarbeiten müssen noch geleistet werden, damit die Infrarot-Thermographie auf breiterer Basis Anwendung finden kann?

Neue Methoden können nur über Beobachtungen oder Experimente entwickelt werden. „*Tatsächlich beruht unser Grundwissen in allen Wissenschaften auf Beschreibung. Je jünger eine Wissenschaft ist, desto mehr muß sie beschreibend sein, um eine faktische Grundlage zu schaffen.*“ (MAYR 2000). Dementsprechend beschäftigt sich diese Arbeit nach der Darlegung physiologischer und technischer Grundlagen zunächst mit Beobachtungen und Beschreibungen der Thermoregulation diverser Säugetiere und einiger Vögel. Einige der von PHILLIPS (1992) vorgestellten Ergebnisse werden u.a. überprüft bzw. verifiziert und anhand von Bildern dem Betrachter ebenfalls vorgestellt. In zwei weiteren Abschnitten werden klinische Fallbeispiele aus den Gebieten der Trächtigkeitsuntersuchung und Entzündungsdiagnostik vorgestellt und damit die Einsatzfähig-

keit der Infrarot-Thermographie in der Zootiermedizin geprüft. Die Trächtigkeitsuntersuchungen mittels Infrarot-Thermographie sind bis auf die bei Giraffen sämtlich Erstuntersuchungen, so daß keine Literaturvergleiche möglich sind. Dies gilt auch für die viele Beispiele aus der Entzündungsdiagnostik und der Thermoregulation. Für die Zukunft werden sich hoffentlich viele Interessenten finden, die dieses spannende und neue Arbeitsgebiet unterstützen und weiter vorantreiben. In diese Richtung zielt auch schon das Kapitel über den Ersteinsatz dieser Technik bei Wildtieren unter Feldbedingungen in Afrika.

Zur Historie

Schon Hippokrates erkannte im 2. Jh. vor unserer Zeitrechnung den Wert der Temperaturmessung in der medizinischen Diagnostik. Er nahm für seine Messungen Lehm, den er als dünne Schicht auf die Haut auftrug. Über die Trocknungsgeschwindigkeit des Lehms konnte er wärmere Stellen von kühleren unterscheiden. Die Experimente von Hippokrates stellten somit die ersten thermographischen Untersuchungen dar (WALDSMITH 1992). Gezielte Temperaturmessungen wurden Mitte des 18. Jahrhunderts möglich, nachdem Fahrenheit, Réaumur und schließlich Celsius ihre Temperaturskalen entwickelt hatten (RÖHLINGER 1983). Im Jahre 1800 entdeckte Sir William Herschel die Infrarot-Strahlung außerhalb des sichtbaren Lichtes. Der erste Infrarot-Detektor wurde 1830 entwickelt (GAUSSORGUES 1994).

Sich mit Temperaturmessungen zu befassen, hat an der Universität Leipzig, in der auch diese Arbeit erstellt wurde, Tradition. Die erste umfassende systematische Erforschung der klinischen Thermometrie erfolgte an der Medizinischen Universitätsklinik von Leipzig durch Carl August Wunderlich Mitte des vorigen Jahrhunderts. Er entwickelte 1850 die erste Fieberkurve und wies als erster die grundlegende Bedeutung der Temperaturmessung in Klinik und Praxis nach (ROST 1980a).

Mit den Grundlagen physiologischer Hauttemperaturen befaßte sich Ende des 19. Jh. die Rubner'sche Schule erstmalig intensiv. Die Entwicklung der Thermographie der Haut begann in der Humanmedizin vor etwa 50 Jahren durch Messung der Wärmeabstrahlung mit sogenannten Bolometern. Die Thermographie ergab auch unter Belastungs- und Thermoregulationsprüfungen interessante Aspekte für die klinische Diagnostik von z.B. Durchblutungsstörungen (BERGSMANN 1980b, BUSCH & BUSCH 1980, HENSEL 1980, KELLER 1980a, 1980b, ROST 1980b, SCHWAMM 1980a).

Mittels Infrarot-Thermographie konnte die Hauttemperatur bei Menschen schon 1967 von BARNES gemessen werden. BLOHMKE (1980) entwickelte mit der Thermographie eine Methode zur Früherkennung von Krankheiten. In der Humanmedizin wurde und wird die Thermographie vor allem bei der Lokalisation pathologischer Prozesse mit Schmerzen im Lumbosakralbereich, bei Bandscheibenvorfall und Rückenmarksläsionen sowie bei traumatischen Verletzungen, Frakturen, Neuropathien, Gefäßveränderungen, Durchblutungsstörungen und Ähnlichem, also bei Erkrankungen eingesetzt, die mit deutlichen Temperaturveränderungen einhergehen (CHUDAZEK 1974, HALLER *et al.* 1980, LOVE 1980, HÄNTZSCHEL 1981, HARZBECKER & MÜLLER 1981, WALDSMITH 1992). Auch die Untersuchung der Tiefenwirkung bei Brandwunden und Frostschäden (LIDDINGTON & SHAKESPEARE 1996, SCHWARTZKOPFGENSWEIN & STOOKEY 1997) sowie die Beobachtung der Durchblutung von Hauttransplantaten gehören zu den Einsatzgebieten der Thermographie in der Humanmedizin (KAEMMERER & BUNTENKÖTTER 1971).

Bei Verhaltensbeobachtungen an nachtaktiven Tieren konnte die Infrarot-Thermographie schon in ihrer frühen Entwicklungsphase gute Dienste leisten. In einer der ältesten Infrarot-Studien untersuchten SOUTHERN *et al.* (1946) mit ihrer Hilfe das Verhalten von Nagetieren bei Nacht. LIECHTI *et al.* (1995) beobachteten mittels Infrarot-Kamera das Verhalten von Vögeln auf ihrem Zug. Biologen haben die Infrarot-Thermographie auch wiederholt in der Tierzählung erprobt. Frühe Versuche des Einsatzes dieser Technik erwiesen sich als schwierig, da die Auflösung der Bilder unzureichend war bzw. die Geräte viel zu langsam arbeiteten (SOUTHERN *et al.* 1946, CROON *et al.* 1968, MARBEL, 1968, GRAVES *et al.* 1972, PARKER 1971, 1972, GOLDBERG 1977). Seit einiger Zeit werden hier die Bemühungen wieder verstärkt, da mit den neuen technologischen Entwicklungen viele der Schwachpunkte aus der Vergangenheit behoben werden konnten. Heute werden z.B. durch Infrarot-Sensoren gesteuerte Kameras zur laufenden Überwachung von Wildwechseln eingesetzt (JACOBSON *et al.* 1997; KOERTH *et al.* 1997). Zur statistischen Erfassung von Populationsgrößen werden Infrarot-Aufnahmen vom Flugzeug oder Boden aus erstellt und später ausgewertet (TANK *et al.* 1992, HAROLDSON & McANINCH 1993, BOONSTRA *et al.* 1994, GARNER *et al.* 1995, LANCIA *et al.* 1996, JOHNSON *et al.* 1997, HAVENS & SHARP 1998). Die Schwierigkeit dabei ist, verschiedene Tierarten voneinander zu unterscheiden. Hierfür sind Studien zur Thermoregulation der Tiere bei gleichen Umgebungstemperaturen wichtig, liegen aber bisher nur für einige Zootierarten vor (PHILLIPS 1992). Den häufigsten Einsatz hat die Thermographie in Nordamerika bei der Tierzählung oder Tierortung von Weißwedelhirschen (*Odocoileus virginatus*) gefunden (WIGGERS & BECKERMAN 1993, NAUGLE 1994, MOORE 1995, HANSEN & BERINGER 1996, HAROLDSON *et al.* 1996, NAUGLE *et al.* 1996, HAVENS & SHARP 1998). Auch an Elchen wurde die Technik erprobt (WILTON *et al.* 1994, ADAMS & PERKINS 1997). Infrarot-Thermographie wurde auch bei Fledermäusen (SABOL & KEITH 1995) und Vögeln (BOONSTRA *et al.* 1995) schon zur Bestimmung der Populationsgrößen eingesetzt. PRINZIVALLI (1992) versuchte, Afrikanische Elefanten (*Loxodonta africana*) mittels Thermographie im Wald zu lokalisieren, was mit der eingesetzten Langwellen-Infrarot-Detektor wenig erfolgreich war. Ähnliches galt für die Arbeit an Walen (CUYLER *et al.* 1992).

Vergleichende Tierzählungsstudien an Weißwedelhirschen, Bärribals (*Ursus americanus*) und Florida Pumas (*Puma concolor coryi*) wurden von Wissenschaftlern in Florida mittels Infrarot- und Video-Kamera einerseits bzw. herkömmlicher Zählung durch Personen ohne Einsatz solcher Techniken andererseits durchgeführt. Die Studie ergab eine eindeutig höhere Präzision der Ergebnisse mittels Infrarot. Mit der Infrarot-Kamera konnten 42 % mehr Hirsche im bewaldeten Lebensraum gezählt werden. Auch waren in dieser Studie verschiedene Tierarten mittels eines hochosensiblen 3-5 µm Infrarot-Detektors voneinander unterscheidbar (HAVENS & SHARP 1998). Feinste Differenzierungen sind bei Temperaturen um 300 K (27 °C) im Infrarot-Bereich 3-5 µm besser möglich als im Bereich 8-13 µm (GAUSSORGUES 1994). Die Entwicklungen der Technik der 90er Jahre weisen hier wesentliche Verbesserungen auf, so daß die Anwendung der Infrarot-Kamera in der Tierzählung eine Zukunft haben wird.

Infrarot-Thermographie in der Veterinärmedizin

Auch die Veterinärmediziner haben begonnen, ihr Interesse an dieser Technik in dem Maße zu entdecken und die Methodik ihrerseits weiter zu entwickeln, in dem immer leistungsfähigere Infrarot-Kameras entwickelt wurden, mit denen relativ einfach genaue Hautoberflächen-Messungen vorgenommen werden können. (FRÖHLICH 1959,

KAEMMERER & BUNTENKÖTTER 1971, STEPHAN & GÖRLACH 1971, CLARK & CENA 1972, 1977, RÖHLINGER 1981, SEEHERMAN 1993, SPRUYT *et al.* 1995, SPEAKMAN & WARD 1998). Der Einsatz der Infrarot-Thermographie begrenzte sich bisher in der Veterinärmedizin auf die Haustiere. In Großbritannien und Frankreich wird sie seit vielen Jahren besonders in der Pferdemedizin vorangetrieben (TURNER 1991, 1993, WALDSMITH 1992, GHAFIR *et al.* 1996a, 1996b, VON SCHWEINITZ 1999, COLLES 2000a, 2000b). In Deutschland hingegen scheiterten die meisten Forschungsanträge an der Finanzierung, obwohl sehr innovative Vorschläge aus den Fachbereichen Veterinärmedizin der Universität Hannover (KAEMMERER & BUNTENKÖTTER 1971), der Universität Leipzig (RÖHLINGER 1983) sowie dem Zoologischen Garten Leipzig (EULENBERGER & KÄMPFER 1994) kamen.

Für das Verständnis des Einsatzes der Infrarot-Thermographie in der Wildtierforschung und Zoo- und Wildtiermedizin muß zunächst kurz auf die Entwicklung in der Haustierhaltung bzw. -medizin eingegangen werden.

In der Pferdemedizin wurde die Infrarot-Thermographie bereits in den 60er Jahren gezielt und erfolgreich eingesetzt. Damals arbeiteten die Infrarot-Scanner jedoch noch so langsam, daß die Untersucher Schwierigkeiten hatten, die Pferde ausreichend lange, d.h. zwischen 19 Sekunden und sechs Minuten, ruhig zu halten. Die Untersucher stellten fest, daß Areale mit langen Haaren für ihre Interpretation mittels Infrarot schwierig zu beurteilen sind (DEIAHANTY & GEORGI 1965). In der Pferdemedizin wird seit vielen Jahren der Frage nachgegangen, inwieweit Infrarot-Thermographie zur Diagnostik und Beurteilung von Gelenk- oder Sehnenentzündungen eingesetzt werden kann. Nach anfänglichen, technisch bedingten Schwierigkeiten (DEIAHANTY & GEORGI 1965) zeigte sie sich durch entsprechende Neuerungen bald als eine vielversprechende, neue, nicht-invasive Methode der Befunderhebung (STRÖMBERG 1971, 1973, 1974, FLORES 1978, WEBBON 1978, PUROHIT 1980, PUROHIT & McCOY 1980, VADEN *et al.* 1980, PALMER 1981, TURNER *et al.* 1983). Heutzutage werden bei Pferden zur Abklärung der Ursache von Lahmheiten nicht nur die Beine thermographiert (TURNER 1991, 1993, MARR 1992, HERBERT 1998, 1999), sondern auch der Rücken (VON SCHWEINITZ 1999, COLLES 2000a, 2000b). Auch Behandlungen mittels Akupunktur werden thermographisch überwacht (VON SCHWEINITZ 1998). Rennpferde beispielsweise werden auch im Training routinemäßig überwacht, denn mittels Thermographie kann eine leichte Verletzung oder Zerrung der Sehnen schon zwei Wochen vor dem Auftreten einer klinisch sichtbaren Lahmheit durch Veränderungen im Temperaturprofil erkannt und somit frühzeitig behandelt bzw. das Pferd geschont werden. (WALDSMITH 1992, WALDSMITH & OITMANN 1994, GHAFIR *et al.* 1996b). Möglichkeiten der Darstellung von Lungenerkrankungen und Venenentzündungen sowie Diagnosen von Chip-Frakturen und Entzündungen an den Extremitäten zeigten sich bei Voruntersuchungen unter Klinikbedingungen an der Universität Leipzig (EULENBERGER & KÄMPFER 1994). Ein weiteres Gebiet in der Pferdemedizin ist die Diagnostik von Nervenläsionen, wie z.B. beim Horner-Syndrom. PURHOIT *et al.* (1980) konnten nachweisen, daß diese Erkrankung mittels Infrarot-Thermographie diagnostizierbar ist, sogar wesentlich früher als mit Hilfe anderer klinischer Methoden.

Bei landwirtschaftlichen Nutztieren wurde die Infrarot-Thermographie schon vor mehr als 20 Jahren an der Universität Leipzig und an der Ingenieurschule in Beichlingen erprobt (BAUER *et al.* 1979, RÖHLINGER *et al.* 1979, 1980, RÖHLINGER 1981). Sie fand aber bis vor kurzer Zeit kein genügendes Echo. In der Schweinemedizin hat die

Infrarot-Thermographie in den 90er Jahren ihren Wert in der Diagnostik von Gelenkentzündungen bewiesen (ŠABEC & LAZAR 1990). Grundlegende Untersuchungen zur Thermographie beim Schwein machten RÖHLINGER und Kollegen (RÖHLINGER *et al.* 1980, RÖHLINGER 1983). In diesen Arbeiten wiesen die Untersucher bereits auf die Problematik der noch nicht ausgereiften Gerätetechnik hin, konnten sich aber für die Zukunft den Einsatz dieser Technologie und Methode sehr gut vorstellen. Dieses bestätigen SCHAEFER *et al.* (1989) in ihrer Arbeit zum Thema Stressbelastung und deren Auswirkung auf die Fleischqualität beim Schwein. Diese Autoren konnten einen Zusammenhang zwischen der durchschnittlich niedrigeren Hauttemperatur der Seiten eines Schweines einerseits und dem nach dem Schlachten auftretenden Ausfluß von Flüssigkeit sowie einer hellen Fleischfarbe (PSE-Fleisch) andererseits nachweisen. Außerdem zeigten in diesen Experimenten Halothan-Test positive und damit stress-sensible lebende Schweine viele kleine heiße Flecken über der dorsalen vorderen Schulter und im hinteren Drittel des Körpers (SCHAEFER *et al.* 1989). In Zukunft wäre also der Einsatz der Thermographie in der Überwachung der Schweineproduktion und am Schlachthof vorstellbar. Seit kurzer Zeit wird ihr Einsatz in Mecklenburg-Vorpommern zur Diagnostik von Schweinepest geprüft. Mit dieser Technik könnten große Schweinebestände hinsichtlich auffälliger Tiere wenig aufwendig untersucht werden, wodurch die Sicherheit der Stichproben-Entnahme erhöht würde (ROST 1997).

Auch in der Rindermedizin hat die Infrarot-Thermographie infolge der inzwischen besseren technischen Voraussetzungen in den letzten Jahren wieder verstärkten Einzug gehalten. RÖHLINGER (1983) konnte schon in den 70er und 80er Jahren erste Ergebnisse in der Diagnostik von Entzündungen an Beinen von Kälbern, bei Mastitiden sowie in der Trächtigkeitsuntersuchung bei Kühen vorlegen. Die Graviditätsuntersuchungen konnten aber leider nicht gezielt weiter verfolgt werden, da nach den Vorversuchen nur noch ein Handpyrometer, aber keine Infrarot-Kamera mehr verfügbar war.

Alle angesprochenen Gebiete zeigten ein ausbaufähiges Potential für die klinische Anwendung der Methodik. In einigen Untersuchungen wurden auch der Einfluß von Umweltfaktoren wie Luftgeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit und Stalltemperatur erfaßt. Auch die Auswirkungen der Pigmentierung von Haut und Haaren und der Dichte des Fells auf die Ergebnisse der Thermographie wurden angesprochen. RÖHLINGER (1983) kam dabei mit älterer Technik schon zu ähnlichen Ergebnissen wie später andere Forscher mit neuerer (GHAFIR *et al.* 1996a). Untersuchungen am Rind bezogen sich in den letzten Jahren vor allem auf die Fortpflanzungsbiologie der Bullen und Schafböcke. Hier wurden zunächst die physiologischen Temperaturen von Hoden, Skrotum, Hodengefäßen und Epididymis gemessen (KASTELIC *et al.* 1995, 1996a, 1996c). Die Temperaturen dieser Meßpunkte wurden dabei auch während der Ejakulation (KASTELIC *et al.* 1996b) und bei verschiedenen Umgebungstemperaturen bestimmt (KASTELIC *et al.* 1997). LUNSTRA & COULTER (1997) fanden signifikante Korrelationen zwischen Skrotaltemperaturen und der Fertilität von Mastbullen im Natursprung. Auch diese Untersuchungen zeigen den Wert der modernen Infrarot-Thermographie für Reproduktionsforschung und Veterinärmedizin.

Den ersten Versuch einer allgemeinen Standardisierung der Infrarot-Thermographie nahmen GHAFIR *et al.* (1996a) vor. Zwei umfassende Übersichten über den Stand der Thermographie Mitte der 90er Jahre lieferten SCHÖNBERGER-FRANKEN (1993) für die Humanmedizin und SPRUYT *et al.* (1995) sowie SPEAKMAN & WARD (1998) für die Veterinärmedizin. Diese Übersichten müssen aber schon wieder als veraltet gel-

ten. Gerade in den letzten fünf Jahren wurden enorme Fortschritte der technischen Entwicklung sowohl in der Qualität der Detektoren und somit der Infrarot-Bilder als auch in der Kühl- und Computertechnik und damit der Handlichkeit der Infrarot-Kameras erzielt. Dieser technische Fortschritt wird auch in dieser Arbeit anhand unterschiedlicher Bildformate und Bildqualitäten deutlich.

Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin

Der Zoo- und Wildtiermedizin bzw. –biologie eröffnet sich durch Einsatz der Infrarot-Thermographie ein ganz neues und verheißungsvolles Aufgabengebiet:

Zoo- und Wildtiere sind diagnostischen wie therapeutischen Maßnahmen auf Grund ihrer Gefährlichkeit oder Stressanfälligkeit nur schwer zugänglich. Diagnostische Maßnahmen erfordern in der Regel eine Ruhigstellung bzw. eine Allgemeinanästhesie, was mit einem erheblichen organisatorischen, personellen und finanziellen Aufwand verbunden ist und auch risikoreich sein kann (FOWLER 1986, 1995, GÖLTENBOTH 1995a, 1995b, MATERN & KLÖPPEL 1995, RÜEDI 1995). Diagnostische wie therapeutische Maßnahmen bedeuten für das Zootier häufig allein durch die damit verbundenen Manipulationen eine erhebliche Erregung und lösen unerwünschte Stressreaktionen aus, die u.a. auch klinische Befunde beeinflussen können (KAEMMERER & BUNTENKÖTER 1971). Zootierärzte haben daher ein großes Interesse, Methoden zur Erhebung von Befunden aus der Distanz, d.h. ohne direkten Tierkontakt und somit ohne Gefahr für Tier und Untersucher, zu entwickeln. Zyklus- und Trächtigkeitsdiagnostik über Urin- oder Kotproben sind dafür Beispiele (RAMSEY *et al.* 1981; HERZOG 1989; SCHWARZENBERGER *et al.* 1993).

Die Infrarot-Thermographie reiht sich in die Liste der nicht-invasiven, stressfreien Methoden der Veterinärmedizin ein. Durch diese Technik wurden grundlegende Arbeiten zur Thermoregulation vieler Nicht-Haustiere überhaupt erst möglich, stehen aber bei etlichen Tierarten noch in den Anfängen. Nur wenige Wildtierarten sind bislang gut untersucht, wie z.B. Guanakos (*Lama guanicoe*) (DELAMO 1985, DELAMO & HEATH 1989) und Füchse (KLIR 1991, KLIR & HEATH 1992). Für einige andere Tierarten sind mittels Infrarot-Kamera Teilaspekte ihrer Thermoregulation untersucht oder Kurzstudien durchgeführt worden. Bei Seehunden (*Phoca vitulina*) z.B. wurde die Temperaturregulation der Vibrissen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen beschrieben (DEHNHARDT *et al.* 1998, KLÄRNER 1999). Bei Ägyptischen Flughunden (*Rousettus aegyptiacus*) und Staren (*Sturnus vulgaris*) konnten sogar Abstrahlungswerte über den Flügeln während des Fluges gemessen werden (LANCESTER *et al.* 1997, WARD *et al.* 1999). Bei Kaninchen (*Oryctolagus cuniculus f. domesticus*) und Afrikanischen Elefanten untersuchten MOHLER & HEATH (1988a, 1988b) sowie PHILLIPS & HEATH (1992) die Temperaturregulation über die Ohren.

Auch Vögel wurden schon mittels Infrarot-Thermographie studiert. Bei den drei Laufvogelarten Strauß (*Struthio camelus*), Emu (*Dromaius novaehollandiae*) und Helmkasuar (*Casuarus casuaris*) (PHILLIPS & SANDBORN 1994), bei Schleiereulen (*Tyto alba*) (McCAFFERTY *et al.* 1998), Kanadagänsen (*Branta canadensis*) und Schneegänsen (*Anser caerulescens*) (BEST & FOWLER 1981) sowie bei Hühnern (*Gallus gallus domesticus*) wurden die Isolierung durch das Gefieder und die Thermoregulation untersucht (BOTTCHEER *et al.* 1991, 1992). Den Wärmeverlust über den Schnabel von Pekingenten (*Anser platyrhynchos f. domesticus*) und die daraus folgenden Gegenmaßnahmen erforschten HAGAN & HEATH (1980).

Bei poikilothermen Tieren, wie z.B. Echsen und Schildkröten, ist die Infrarot-Thermographie für Thermoregulationsstudien oder zur veterinärmedizinischen Diagnostik nur zum Teil sinnvoll und hat daher bisher wenig Anwendung gefunden (HEATH 1965, EULENBERGER & KÄMPFER 1994). Für einige Fragestellungen könnte diese Methode jedoch hilfreich sein, z.B. beim Studium der Entwicklung der Gelege (HILSBURG & EULENBERGER 1997) oder bei Experimenten zur Präferenz von Umweltbedingungen durch verschiedene Reptilienarten (KOLLIAS 2000).

Für einen umfassenden Einsatz der Infrarot-Thermographie in der Zootiermedizin muß zunächst noch viel Grundwissen erarbeitet werden. Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen in diesem Bereich. Die ersten auf diesem Gebiet wurden von EULENBERGER und KÄMPFER (1994) durchgeführt. Eine erste umfassende Arbeit über die Thermoregulation und zum Energiehaushalt diverser Zootierarten hat PHILLIPS (1992) vorgestellt. In letzterer Studie wurden aber keine veterinärmedizinischen Aspekte besprochen. Grundlagenarbeiten aus der Haustiern Medizin, wie einige der oben genannten, können für die Entwicklung der Methodik in der Zootiermedizin herangezogen werden. Für viele Tierarten liegen z.Z. noch keinerlei Daten zur Oberflächentemperatur und Thermophysiologie oder zu tierartlichen Besonderheiten in Anatomie oder Physiologie der Haut vor. Manche Arbeiten zur Thermoregulation stammen aus Zeiten, in denen Infrarot-Kameras noch nicht zur Verfügung standen oder technisch nur so wenig entwickelt waren, daß solche Untersuchungen mit modernem Gerät nachgeholt werden sollten.

Es müssen also zunächst viele und groß angelegte Grundlagenuntersuchungen zur Weiterentwicklung der Thermographie und zur Interpretation der Befunde durchgeführt werden. Die Ergebnisse könnten dann auch statistisch bewertet werden. Dies dürfte dann keine Schwierigkeit bereiten, wenn dem Untersucher kontinuierlich eine Kamera zur Verfügung stünde, was für diese Arbeit aus finanziellen Gründen leider nicht der Fall sein konnte. DEIAHANTY & GEORGI erkannten bereits 1965, daß sehr viele Bilder nötig wären, um diese neue Methode zu gesicherter Interpretationsfähigkeit zu entwickeln. Erst in den letzten fünf bis zehn Jahren sind die Infrarot-Kameras so weit entwickelt worden, daß sie handlich genug sind, um für umfangreiche Untersuchungen im Zoo und in freier Wildbahn eingesetzt werden zu können.

Die vorliegende Arbeit mit dem Thema

Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin

behandelt drei Schwerpunktgebiete aus der Zoo- und Wildtiermedizin:

1. Untersuchungen zur Temperaturregulation bei Zoo- und Wildtieren in Hinblick auf Artunterschiede und Haltungsbedingungen.
2. Möglichkeiten der Trächtigkeitsdiagnostik bei Nashörnern, Elefanten, Giraffen und einigen anderen ausgewählten Tierarten.
3. Möglichkeiten der Diagnostik von Entzündungen oder anderen Prozessen, die mit Veränderungen der allgemeinen oder lokalen Körpertemperaturen einhergehen.

Hypothese 1: Thermoregulation

Zootiere aus arktischen oder temperierten Klimaregionen strahlen bei gleich kühler Umgebungstemperatur weniger Wärme ab als Tiere aus tropischen und subtropischen Klimaregionen.

Hypothese 2: Trächtigkeitsuntersuchung

Eine Trächtigkeit bewirkt u.a. eine lokal vermehrte Wärmeabstrahlung über die Bauchwand, so daß ein mit der Trächtigkeit assoziiertes Wärmefeld - das sog. „Trächtigkeitsfeld“ - entsteht. Bei einem nackten oder kurzhaarigen Tier kann ein Trächtigkeitsfeld mittels Infrarot-Thermographie sichtbar gemacht werden.

Hypothese 3: Entzündungsdiagnostik

Eine Entzündung verursacht oder in ihrer Folge entsteht eine lokale bzw. auch eine allgemeine vermehrte oder verminderte Wärmeproduktion bzw. -abgabe. Diese ist mittels Infrarot-Thermographie erkennbar und somit der Entzündungsherd direkt oder indirekt nachweisbar.

Da die Infrarot-Thermographie, genau wie die Sonographie, eine beschreibende Methode ist, werden in der vorliegenden Arbeit viele Abbildungen präsentiert und besprochen. Diese Bilder sind gleichzeitig die ersten Abbildungen für die Datenbank „Zoo- und Wildtier Thermographie“ und dienen der Dokumentation „normaler Thermoregulation“ bei einzelnen Tierarten. Die Bedeutung einer Abweichung von der normalen Thermoregulation wird in den Diskussionen besprochen.

2.0 Thermoregulation bei Tieren - Literaturübersicht

Jedes Lebewesen vermag nur innerhalb bestimmter Temperaturbereiche zu leben. Bei endothermen Tieren entsteht durch Stoffwechselprozesse im Organismus Wärme (Wärmeproduktion). Über Haut und Haare/Federn/Schuppen etc. als Grenzfläche zwischen Organismus und Umwelt wird Wärme ausgetauscht (Wärmetransfer). Je nach Temperatur- und Luftfeuchtheitsdifferenzen wird Wärme an die Umgebung abgegeben oder von ihr aufgenommen (STEPHAN & REDECKER 1970). Nach einer Phase der Adaptation entsteht ein Gleichgewicht zwischen einem Lebewesen und seiner Umwelt (McARTHUR 1987). Bei homoiothermen endothermen Tieren, also Säugetieren oder Vögeln, spielt die Körperkerntemperatur für das Gleichgewicht zwischen Tier und Umwelt eine wichtige Rolle. Die Kerntemperatur muß innerhalb artspezifischer enger Grenzen gehalten werden, damit die Stoffwechselvorgänge optimal ablaufen können und das Tier in seinem Lebensraum bestehen kann. Es gibt jedoch Lebensräume, in denen Säugetiere ihre Kerntemperatur nicht mehr konstant halten können (LOUW 1993).

Die aktuelle Körpertemperatur eines Tieres setzt sich immer aus der Wärmeproduktion einerseits und dem Wärmeaustausch (Wärmetransfer) mit der Umgebung andererseits zusammen. Dies kann auf folgende Formel gebracht werden:

$$\text{Aktuelle Körperwärme} = \text{Wärmeproduktion} \pm \text{Wärmetransfer}$$

Die **Wärme** wird im Körper bei folgenden Vorgängen **produziert**:

1. Grundumsatz: Basis-Stoffwechsel zur Erhaltung der wichtigsten Lebensfunktionen
2. Leistungsstoffwechsel: Alle den Grundumsatz übersteigende Energieumsätze

Die **Wärmeproduktion** wird beeinflusst durch:

1. Verhalten: Einfache bis starke körperliche Aktivitäten
2. Autonome Wärmeregulationen, z.B. durch Mobilisierung von Energiereserven
3. Adaptive Mechanismen oder Akklimatisation: Veränderter basaler Metabolismus

Der **Wärmetransfer** setzt sich zusammen aus

- Konduktion: Wärmeausgleich durch direkten Kontakt mit der Umgebung
- Konvektion: Wärmeausgleich durch Luftbewegung
- Transpiration: Wärmeabgabe durch Verdunstung (Evaporation)
- Radiation: Wärmeabgabe durch Strahlung (Infrarot)
- Speicher-Wärme: Wärmeaufnahme in den Körper bzw. -abgabe zwecks Ausgleich

Der **Wärmetransfer** wird im wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt:

1. Relative Körperoberfläche: Verhältnis zwischen Körpervolumen und -oberfläche
2. Beschaffenheit der Körperoberfläche, z.B. Federn, Fell oder Speckschichten
3. Temperaturdifferenz zwischen dem Tier und seiner Umgebung

Weitere Regulationsmöglichkeiten im Wärmehaushalt sind:

1. Verhalten (PFLUMM 1989):

- Ortswechsel zu anderen Umgebungsbedingungen (Schatten, Sonne, Wind, Wasser etc.)
- Körperstellung: Ausrichtung zur Wärmequelle
- Herdenleben: Zusammenrücken reduziert Wärmeabgabe, fördert Wärmeleitung
- Muskelzittern: Wärmeproduktion durch feinste Muskelbewegung (unwillkürlich)
- Muskelarbeit: Bewegung zur Generierung von Muskel-Arbeitswärme (willkürlich)

- Autonome Kontrolle der Vasomotorik in Haut und Unterhautgewebe
- Variation der Isolierfähigkeit z.B. durch Stellung der Fellhaare bzw. Federn
- Schwitzen (perspiratio sensibilis) oder passive Verdunstung von Wasser auf der Haut (perspiratio insensibilis)
- Atmen mit offenem Maul oder Speicheln während einer Hechelphase

Das Diagramm illustriert die Wärmeabfuhr eines Tigers in seiner natürlichen Umgebung. Es zeigt die folgenden Prozesse:

- Wärmestrahlung (Infrarot):** Kurzwelliges Infrarot vom Sonnenlicht und langwelliges Infrarot von der Sonne, den Wolken, dem Baum und dem Tiger selbst.
- Wärmeleitung (Konduktion):** Wärmeabfuhr vom Tiger zum Boden.
- Wärmeproduktion:** Im Inneren des Tigers.
- Transport erwärmter Massen (Konvektion):** Abfuhr von Wärme durch die Luft.
- Verdunstung (Transpiration):** Abfuhr von Wärme durch die Haut.

Die Körperwärme eines Tieres ergibt sich zum einen Teil aus dem Energiestoffwechsel und zum anderen Teil aus dem Wärmeaustausch zwischen Tier und Umwelt. Durch die Verdauung der Nahrung wird Wärme während der Fermentation als Fermentationswärme und beim Umsetzen der verdaulichen Energie in Endprodukte als Restwärme freigesetzt (PETRY 2000). Der Energiestoffwechsel eines Tieres besteht aus zwei Komponenten: Grundumsatz und Leistungsstoffwechsel.

IRVING *et al.* (1955) fanden heraus, daß sich der Grundumsatz bei Vögeln und Säugtieren nicht in Abhängigkeit von der Jahreszeit ändert. Einige Vögel der Arktis und

Antarktis hatten jedoch einen höheren Grundumsatz als nach den gängigen Berechnungen zu erwarten war. Für die Berechnung des Grundumsatzes sind in der Tierphysiologie über die Jahre viele Formeln aufgestellt worden. Mit diesen Formeln berechnet man den Grundumsatz der Tiere über das metabolische Körpergewicht aus dem Gewicht des Tieres mit einem Exponenten zwischen 0,64 und 0,75 (BRODY & PROCTER 1932, KLEIBER 1932, BENEDICT 1938). Die meisten Forscher favorisierten den Exponenten 0,75 der Kleiber-Formel, berichteten aber von Änderungen im Grundumsatz in Abhängigkeit vom Lebensraum sowie der Diät und Kondition des Tieres (SCHOLANDER *et al.* 1950b, McNAB 1974, HEUSER 1982, 1991, FELDMAN & McMAHON 1983, HARVEY & BENNETT 1983, HAYSEN & LACEY 1985). Die deutlichsten Zusammenhänge zwischen Körpergewicht und Grundumsatz bestanden nach McNAB (1988) bei Tiergruppen, die sich physiologisch und ökologisch ähnlich sind. Andere Wissenschaftler berechneten den Wärmeaustausch und Grundumsatz eines Tieres über die allgemeine Konduktion K, wobei diese Konduktion der Umkehrwert der Isolation ist. Hierbei wurde die Gesamtoberfläche des Tieres in die Berechnung einbezogen. Für viele Tierarten ist auf Grund der starken Isolation über große Körperareale und spezieller Wärmeaustauschregionen des Körpers eine solche Berechnung problematisch (PROSSER & HEATH 1991). Die meisten Untersuchungen zum Grundumsatz wurden des weiteren in Klimakammern durchgeführt, wobei die Tiere einem nicht unerheblichen Streßfaktor unterlagen, der die Ergebnisse verfälschen kann (KAEMMERER & BUNTENKÖTTER 1971). Außerdem wurden für die Erstellung der Grundumsatzformel nur Werte für Tiere unter 40 kg Körpergewicht ermittelt. Angaben über den Grundumsatz größerer Tiere sind meist extrapolierte Werte, keine echten Messungen. Der Einsatz der Infrarot-Thermographie hat hier Abhilfe geschaffen. Eine Messung des Grundumsatzes konnte mit ihrer Hilfe an wesentlich größeren Tieren vorgenommen werden. Die Infrarot-Untersuchungen ergaben, daß für die Berechnung des Grundumsatzes von kleineren Tieren (bis 30 kg) die Kleiber-Formel am geeignetsten ist. Für größere Tiere wird der Stoffwechsel über diese Formel als zu niedrig berechnet, so daß neue Formeln erarbeitet werden mußten (PHILLIPS 1992).

Fledermäuse z.B. haben einen hohen Grundumsatz und können daher leicht mittels Infrarot-Kamera lokalisiert und gezählt werden. Sie unterscheiden sich in ihrer Wärmeabstrahlung stark von der Umgebung (SABOL & KEITH 1995). In einer Studie von WEBB *et al.* (1993) konnte mittels Infrarot-Thermographie ermittelt werden, daß in einer Kolonie von Großohrfledermäusen (*Plecotus auritus*) einige Tiere hohe, einige mittlere und andere niedrige Wärmeabstrahlung zeigten. Die Tiere mit hoher Wärmeabstrahlung waren zum Untersuchungszeitpunkt endotherm, die mit mittlerer Abstrahlung befanden sich im „Energiesparmodus“ und die mit niedriger Abstrahlung im Torpor (Starrezustand). Letzterer spart am meisten Energie, ist aber mit Gefahren verbunden (WEBB *et al.* 1993). Ähnliches beobachtete HENSHAW (1968) bei der Kleinen Braunen Fledermaus (*Myotis lucifungus*). Die Tiere zeigten zyklische Änderungen im Grundumsatz, je nachdem, ob sie gerade endotherm oder im Torporstadium waren.

Daten über den Stoffwechsel sind in der Veterinärmedizin bei der Berechnung der Dosierung eines Medikamentes von großer Bedeutung (UNGEMACH 1994). Die Thermographie bei Wildtieren kann hierfür wichtige Forschungsergebnisse liefern. Mittels Thermographie, den Formeln für Radiation und Konvektion sowie Vorgaben für die Oberflächenberechnung diverser Tierarten (BENEDICT 1934, PORTER & GATES 1969) können diese Basisdaten ermittelt werden (PHILLIPS 1992). In den Formeln von PHILLIPS (1992) für den Energiehaushalt wurden grundsätzlich neue Überlegungen für

die Berechnung des Wärmeaustausches zwischen einem Tier und seiner Umwelt angestellt. Über Infrarot konnte ermittelt werden, welche Regionen des Tierkörpers im Austausch von Wärme in der jeweiligen Umgebungstemperatur gerade aktiv waren. Über die Fläche dieser Areale wurde dann die Berechnung des Ruhestoffwechsels vorgenommen. Ähnliche Methoden wurden für Grundlagenarbeiten der Thermoregulation über Kaninchen- (MOHLER & HEATH 1988a, 1988b) und Elefantenohren (PHILLIPS & HEATH 1992), bei Guanakos (DeLAMMO 1989), Füchsen (KLIR 1991, KLIR & HEATH 1992) und großen Laufvögeln (PHILLIPS & SANDBORN 1994) erfolgreich eingesetzt. Auch heute ist diese Methode schon geeignet, allgemein gültige Aussagen über die Temperaturregulation bei Tieren zu machen (PHILLIPS & HEATH 1995).

Neben den Studien zum Grundumsatz der Tiere sind auch Untersuchungen über den Leistungsstoffwechsel wichtig. Der Leistungsstoffwechsel schließt alle den Grundumsatz übersteigenden Energieumsätze wie körperliche Arbeit, Fortpflanzung, Anpassung an kalte oder heiße Umgebungstemperaturen etc. ein. Durch den Leistungsstoffwechsel können eine oder mehrere weitere Wärmequellen gleichzeitig entstehen. Die Wärmeproduktion ist je nach Leistungsart verschieden (KAMPHUES *et al.* 1999). Auch für diese Berechnungen kann heutzutage die Infrarot-Thermographie eingesetzt werden. Während der körperlichen Arbeit und bei hohen Umgebungstemperaturen erhöhen z.B. Ziegen (*Capra aegagrus f. hircus*) die Durchblutung ihrer Hörner, um anstauende Wärme schnell abzugeben (TAYLOR 1966). Der Mensch - und das Tier - erhöhen bei körperlichen Anstrengungen die Wärmeabstrahlung über alle aktiven Muskeln, so daß ein sehr unterschiedliches Wärmeprofil des aktiven gegenüber einem ruhenden Individuum beobachtet wird (CLARK *et al.* 1977). Bei der Muskelarbeit wird nur 25% der chemischen Energie in mechanische Arbeit umgewandelt, der Rest wird als Wärmestrahlung abgegeben (SZENTKUTI & EHRLEIN 2000). Mittels Infrarot können solche Ergebnisse direkt erfaßt werden. Im Echtzeitverfahren können sogar einzelne Stadien in der Veränderung des Wärmeprofiles im zeitlichen Ablauf festgehalten werden.

Die gesamte Wärme aus Grundumsatz und Leistungsstoffwechsel wird über Temperaturrezeptoren im Hypothalamus, im Rückenmark und in der Haut bei der Regulierung der Körpertemperatur berücksichtigt. Im Hypothalamus befinden sich einige Wärmerezeptoren, die direkt die Temperatur im Gehirn messen. In der Haut überwiegen Kälterezeptoren (JESSEN 2000). Beide Rezeptortypen vermitteln aktuelle Werte direkt an das Temperaturzentrum in der präoptischen Region des Hypothalamus (KLUGER & HEATH 1971, HEATH *et al.* 1972). Von hier werden Impulse zur Änderung des Verhaltens, der Körperausrichtung zur Wärmequelle, der Durchblutung der Körperoberfläche, der Verdunstung und der Anpassung des Stoffwechsels gegeben (WILLIAMS & HEATH 1970, HEATH *et al.* 1971, KLIR 1991). SCHOLANDER *et al.* (1950b) fanden heraus, daß Tiere zunächst ihr Verhalten und ihre Isolierung ändern, z.B. die Durchblutung der Haut, und erst danach ihren Stoffwechsel den neuen Bedingungen anpassen.

Homoiotherme, endotherme Tiere, also Säugetiere und Vögel, können heiße Umgebungstemperaturen schlechter vertragen als kältere. Die Möglichkeiten der Wärmeabgabe sind begrenzter als die der Wärmekonservierung. Es kann zu Hyperthermie und Wärmestau kommen (PFLUMM 1989). Passive und aktive Wärmeabgaben werden bei hohen Umgebungstemperaturen erforderlich. Eine passive Wärmeabgabe ist z.B. das Aufbringen von Wasser oder Schlamm auf die Haut. Für die aktive Wärmeabgabe stehen verschiedene Mechanismen zur Verfügung wie z.B. eine verstärkte Durchblutung der Haut und Schwitzen oder Verhaltensänderungen wie z.B. die Produktion von

Schatten und einer relativen Vergrößerung der Körperoberfläche mittels Schwanzaufstellen bei Kapborstenhörnchen (*Xerus inauris*) oder Ohrenwedeln bei Elefanten (BUSS & ESTES 1971, WRIGHT 1984). Alle diese Maßnahmen sollen eine Hyperthermie vermeiden helfen. Vergrößert wird die Gefahr einer Hyperthermie, wenn hohe Umgebungstemperatur und hohe relative Luftfeuchtigkeit zusammenkommen (JESSEN 2000). Bei der Tierhaltung in Gebäuden ist dies unbedingt zu beachten.

Die häufigste Methode der Temperaturregulation bei Tieren ist die Veränderung der Durchblutung der Haut. Besonders Tiere mit einer dünnen Haut, wie z.B. die Elenantilope (*Tragelaphus oryx*), regulieren so ihre Körpertemperatur (FINCH 1972b). Die Reduktion der Haut- und Körperoberflächentemperatur und damit die Verringerung des Temperaturgradienten zwischen Oberfläche des Tieres und Umwelt erhöht die Isolation des Tieres nach außen. Lokalisierte Vasodilatation verhindert bei sehr tiefen Temperaturen auch das Erfrieren des Hautbezirkes (IRVING 1956, 1962, IRVING *et al.* 1956). Lokalisierte Vasodilatation nutzte das Karibou (*Rangifer tarandus*) an Nase und Beinen, um exzessive Wärme beim Traben abzugeben (IRVING 1962). Rinder variierten die Temperaturen ihrer Ohren und Beine (WHITTOW 1962) und Fledermäuse die Durchblutung ihrer Flügel (KLUGER & HEATH 1970) zur Thermoregulation. Die Temperatur der Flügel bei Ägyptischen Flughunden wurde in einer neueren Studie mittels Infrarot-Thermographie bei fliegenden Tieren in einem Windtunnel gemessen. Vom proximalen zum distalen Flügelende bestand ein Temperaturgradient von 10 °C bei einer Umgebungstemperatur von 23 °C (LANCESTER *et al.* 1997).

Bei hohen Umgebungstemperaturen versuchen viele Tiere, die Wärmeaustauschflächen zu maximieren, wie z.B. das Gürteltier (*Dasypus novemcinctus*) (JOHANSEN 1962) oder der Weißwedelhirsch (HOLTER *et al.* 1975). Mechanismen wie das Aufstellen der Fellhaare oder Schuppen, das Abspreizen der Beine und das Aufstellen der Ohren und des Schwanzes werden hierfür eingesetzt. Während die Beisa-Oryx (*Oryx gazella beisa*) den ganzen Tag unter praller Sonne ausharrt, ziehen sich Elenantilope (TAYLOR 1969b) oder Wapitihirsch (*Cervus elaphus canadensis*) (MERRILL 1991) bei großer Hitze in den Schatten, der Namibia-Goldmull (*Eremitalpa granti*) sogar in eine unterirdische Höhle zurück (FIELDAN *et al.* 1990). Andere Tiere verwandten ihre eigenen Körperanhänge als „Sonnenschirm“, wie z.B. das Albert's Hörnchen (*Sciurus alberti*) und das Kapborstenhörnchen, die dafür ihren buschigen Schwanz nutzten (GOLIGHTLY & OHMART 1978, BENNETT *et al.* 1984).

Homoiotherme endotherme Tiere regulieren durch Wärmeproduktion bzw. -transfer ihre Körperkerntemperatur normalerweise innerhalb enger artspezifischer Grenzen. Die Körperkerntemperatur bei Säugetieren liegt im Allgemeinen zwischen 37 und 40 °C, bei Vögeln zwischen 40 und 43 °C. Auch beim Menschen wird die Körperkerntemperatur in engen Grenzen konstant gehalten. Die Temperatur der Körperschale kann dagegen stark variieren (Abb. 2). Dieses Schema der Regulierung der Körpertemperatur wird auch von den meisten Säugetierarten angewandt (PFLUMM 1989).

In der Körperperipherie kann die Temperatur in weiten Grenzen bis hin zu Werten der Umgebungstemperatur verändert werden, ohne daß der Körperkern davon in Mitleidenschaft gezogen wird. Die Körperperipherie wird auch als poikilotherme Körperschale bezeichnet und besteht aus Haut, Unterhaut und Muskulatur. Die Ausdehnung der Körperschale wird je nach Umgebungstemperatur variiert. Bei hohen Temperaturen ist die Körperschale im Verhältnis zum Gesamtkörper dünn, bei niedrigen Temperaturen dick.

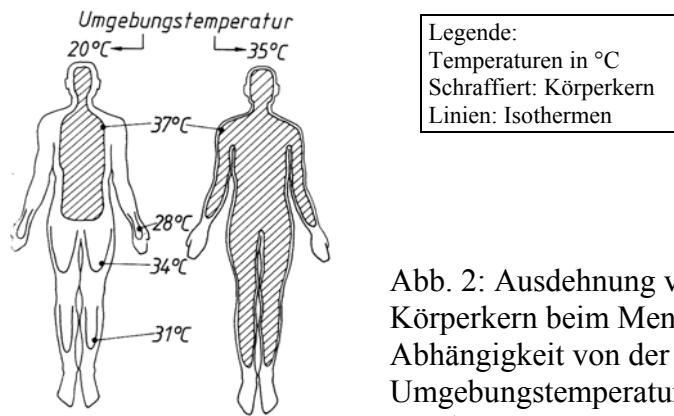


Abb. 2: Ausdehnung von Körperschale und Körperkern beim Menschen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (Quelle: PFLUMM)

Im Schwanz der Grünen Meerkatze (*Ceropithecus aethiops*) wird die Blutzufuhr in kühler Umgebung drastisch reduziert, um Energie zu sparen (HONGO & LUCK 1953). Dickhornschafe (*Ovis canadensis*) setzen Vasokonstriktion an den Beinen ein, wenn die Windgeschwindigkeit ansteigt (CHAPPEL & HUDSON 1978). BAKER *et al.* (1976) fanden heraus, daß bei aus dem Schlaf erwachenden Schweinsaffen (*Macaca nemestrina*) zunächst die Temperatur im Gehirn anstieg, während sie in Beinen, Schwanz, Ohren, Nase und Nasenschleimhaut rapide abnahm. Nach dem Erwachen wurde also eine vasomotorische Reaktion ausgelöst, die dem Gehirn das Blut zuführte und z.B. den Bewegungsorganen entzog. Wahrscheinlich war dies für die schnelle Arbeit des Gehirns nötig. Die Beispiele zeigen, daß die Vasomotorik in der Thermoregulation eine wichtige Rolle spielt und ein schneller und effektiver Mechanismus ist, mit dem die Dicke der Isolationsschicht des Körpers und damit der Körperschale verändert und neuen Bedingungen angepaßt werden kann (IRVING & KROG 1955). IRVING (1962) vermutet, daß diese Variation der Gewebetemperaturen noch vor Fell und Federn der primäre Mechanismus der Thermoregulation aller endothermen Tiere ist.

Für ein effektives Thermoregulationssystem ist auch der Trainingseffekt wichtig. Untersuchungen zeigten, daß die Konvertierung von gespeicherter Energie in Muskelarbeit uneffektiv war; ca. 80 % der Energie gingen als Wärme verloren. Das bewirkte eine hohe Wärmebelastung des Körpers (HODGSON *et al.* 1994). GHAFIR *et al.* (1996b) fanden heraus, daß Pferde (*Equus przewalski f. caballus*) nach einer Trainingsperiode von sechs Wochen ihre Körpertemperatur viel intensiver über die Haut regulierten als vorher. Das Training reduzierte somit zum Teil auch die Wärmebelastung des Gehirns. Die anfallende Wärme wurde schneller und direkt über die Haut nach außen abgegeben. Die Pferde schwitzten schon bei niedrigerer Temperatur. Da Pferde effektiv schwitzten, 10-15 L h⁻¹, konnten sie hohe Körpertemperaturen einige Zeit lang aushalten. Erhitzten sich aber der Körperkern auf 42,5 °C und die Muskulatur auf 45 °C, nähert sich auch das Pferd einer kritischen Temperatur mit u.U. letalen Folgen (HODGSON *et al.* 1994).

Beim Karibou zeigten Jungtiere nach der Geburt einen erhöhten Energiebedarf und entsprechend gesteigerten Stoffwechsel, da sie sich Windverhältnissen und vermehrter Konvektion anpassen mußten. Erst mit neun Monaten war ihre Isolation fast so gut wie die ausgewachsener Tiere (HART *et al.* 1961). Ähnlich lagen die Verhältnisse beim Südlichen See-Elefanten (*Mirounga leonina*). Hier starben jedes Jahr ca. 5 % der Jungtiere wegen einer noch mangelhaften Isolierschicht. Sie verloren stellenweise unkontrolliert Wärme und tauten z.B. beim Liegen das Eis unter sich auf, froren dann aber während der Nacht fest. So konnten sogar Miniatur-Schmelzseen entstehen, in denen die Robbenbabys langsam versanken und erfroren (KRUMBIEGEL 1953/55).

Jedes homoiotherme Tier hat einen arttypischen Temperaturbereich, in dem es ohne zusätzlichen Energieaufwand seine Körperkerntemperatur innerhalb enger Grenzen halten kann. Dieser Temperaturbereich wird als „thermoneutrale Zone“ bezeichnet. In dieser Temperaturzone reicht der Basis-Stoffwechsel aus, um trotz wechselnder Umgebungstemperaturen die Temperatur im Körperkern konstant oder innerhalb enger Grenzen zu halten. Innerhalb dieser Zone werden keine Maßnahmen wie Schwitzen oder Hecheln, Kältezittern oder Energiegewinnung aus braunem Fettgewebe aktiviert. Die Breite der thermoneutralen Zone stellt eine im Laufe der Evolution erworbene Anpassung einer Tierart an ihren natürlichen Lebensraum dar. Die Zone wird von den kritischen Temperaturen begrenzt. Als untere kritische bzw. obere kritische Temperatur bezeichnet man die Temperatur, unter- bzw. oberhalb derer das Tier trotz aller Anpassungen nicht auf Dauer zu überleben vermag. Unterhalb der unteren kritischen Temperatur erfriert das Tier bald, oberhalb der oberen kann es bald zum Wärmestau oder gar Hitzschlag kommen. Im Laufe der Evolution sind Tiere langfristig in der Lage, sich an ihre Umgebung anzupassen. Bei Robben hat sich z.B. eine isolierende Fett- und Fellschicht gebildet, bei Eisbären und Wölfen hingegen ein langes, dichtes Haarkleid (PFLUMM 1989). Abbildung 3 zeigt das Schema des Energieumsatzes eines Homoio- und eines Poikilothermen mit der thermoneutralen Zone für ein homoiothermes Tier. Die artspezifische Ausdehnung der thermoneutralen Zone kann individuell leicht schwanken. Beim tropischen Flughund (*Syconycteris australis*) beträgt die Ausdehnung der thermoneutralen Zone 1 °C, beim Eisbär (*Ursus maritimus*) 80 °C (PFLUMM 1989).

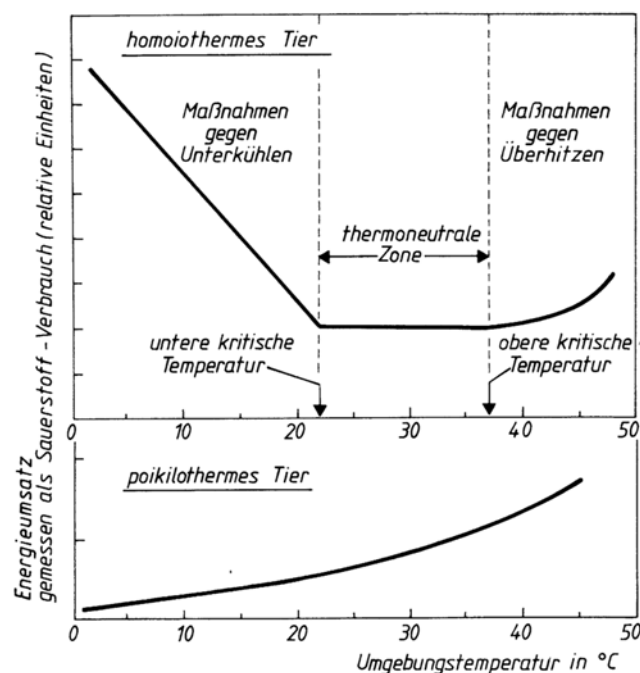


Abb. 3: Energieumsatz eines homoiothermen und eines poikilothermen Tieres in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (Quelle: PFLUMM 1989)

Neben einer generellen Wärmeabgabe über die gesamte Körperoberfläche können auch sog. „thermische Fenster“ genutzt werden. Thermische Fenster sind Areale der Körperoberfläche, die besonders auf die Abgabe von Wärme spezialisiert sind (KRUMBIEGEL 1953/55). Bei vielen langhaarigen Tieren sind Achselregion und Zwischenschenkelspalt, wie auch Augen, Maul und Nase thermische Fenster (PHILLIPS 1992). Abbildung 4 zeigt die von KRUMBIEGEL (1953/55) ermittelten thermischen Fenster bei einem See-Elefanten.

Legende:
Hautoberflächen-Temperaturen in °C. Ovale kennzeichnen thermische Fenster.

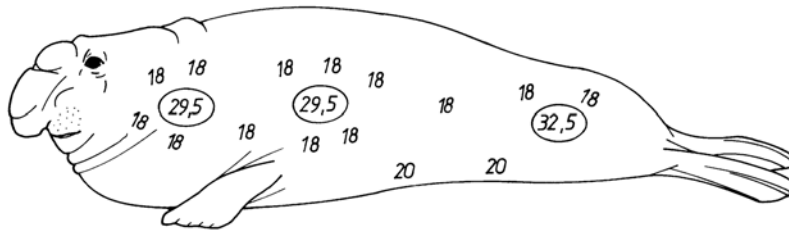


Abb. 4: Thermoregulation: Thermische Fenster bei See-Elefanten
(Quelle: KRUMBIEGEL 1953/55)

Neben einfachen Hautoberflächen können auch Sinnesorgane oder Körperanhänge als thermische Fenster ausgebildet sein. Seehunde verwenden zur Nahrungssuche, zum Abtasten der Umgebung und zur Orientierung unter Wasser ihre Vibrissen (Oberlip-pentasthaare). Für ihren Einsatz müssen sie kontinuierlich auf einer bestimmten Arbeitstemperatur gehalten werden. Trotz einer Lufttemperatur von $-7,0\text{ °C}$ und einer Wassertemperatur von $1,0\text{ °C}$ hielten die Seehunde die Region ihrer Vibrissen auf $18,1\text{ °C}$. Dieses konnte mittels Infrarot-Thermographie festgestellt werden. Diese Wärmefenster und der damit verbundene Energieverlust sind für die Funktion der Mechanorezeptoren nötig und daher eine tierartspezifische Besonderheit (DEHNHARDT *et al.* 1998, KLÄRNER 1999). Solche Besonderheiten müssen bei der Thermographie in der Zootiermedizin berücksichtigt und daher zunächst entdeckt und beschrieben werden.

Das Fell der Säugetiere stellt eine stark isolierende Schicht dar und ist der wichtigste Faktor für die Konservierung von Wärme (IRVING & KROG 1955). Dichtes Fell zeigt wenig Konduktion und Radiation (HAMMEL 1955). GIESEKING *et al.* (1990) konnten die geringe Radiation auch bei einheimischem Wild mittels Infrarot nachweisen. Eine dicke Haut kann eine ähnlich gute Isolationsschicht bilden wie ein Fell (TREGGAR 1965). LANGMAN (1983) argumentiert sogar, daß die Temperatur über eine haarlose, dicke Haut besser reguliert werden kann als über ein Fell. Wenn die Luftgeschwindigkeit gleich Null wäre, wäre ein Fell zur Isolierung unnötig. Das Fell hat aber bei der Konvektion Vorteile gegenüber der Haut, da zwischen den Fellhaaren eine isolierende Luftschicht eingeschlossen werden kann, was bei bloßer Haut nicht möglich ist (IRVING & KROG 1955). In Studien an Tieren und separaten Fellen wurde die Isolierfähigkeit der Felle einzelner Tierarten ermittelt (SCHOLANDER *et al.* 1950c, MOEN 1968, BAKKEN 1991). Die Problematik dieser Studien liegt in der isolierten Verwendung von Fellen. Solche Studien lassen nicht unbedingt auf die Temperaturregulation eines intakten lebenden Tieres schließen (BAKKEN 1991). Hierfür ist die Infrarot-Thermographie nötig, die alle diese Studien überprüfen und evtl. verifizieren könnte.

In warmen Umgebungstemperaturen oder im Sommer haben homoiotherme Tiere einen geringeren Energieverbrauch als in kalter Umgebung (MORRISON 1960). Aus diesem Grund wechseln viele Tierarten im Frühling und Herbst ihr Fell. Über ein dünneres Fell im Sommer kann die Wärmeabgabe erleichtert und maximiert werden (IRVING *et al.* 1955, IRVING 1962). SCHOLANDER *et al.* (1950a, 1950b) beobachteten an vielen Tieren regionale Unterschiede in der Dichte des Fells. Diese unterschiedlichen Felldichten scheinen mit den von PHILLIPS (1992) gefundenen thermischen Fenstern zu korrelieren und sind daher Regionen der Thermoregulation.

Für das Überleben der Wildtiere ist die Thermoregulation von entscheidender Bedeutung. Die Wissenschaft hat in den letzten 30 Jahren auf diesem Gebiet viele neue Erkenntnisse erlangt. Früher wurden diese Untersuchungen nur mit Rektal- oder Intrakutan-Thermometern durchgeführt. Heute könnte die Infrarot-Thermographie viele weitere tierartige Besonderheiten aufdecken. Wenn z.B. ein Gepard (*Acinonyx jubatus*) mit hoher Geschwindigkeit ein Beutetier verfolgt, entsteht bei ihm eine starke Wärmeentwicklung. TAYLOR & ROWENTRY (1973) errechneten eine Wärmeproduktion, die sechzig mal so hoch war wie die des Ruhestoffwechsels. 70 bis 90 % dieser Wärme müssen im Körper des Geparden gespeichert werden, da die Mechanismen der Transpiration während des Laufes gehemmt sind. Wenn die Rektaltemperatur des Geparden auf 40,5 °C ansteigt, gibt er eine weitere Verfolgung seiner Beute auf. Erst während der folgenden Ruhephase kann er seine Ausgangs-Körperkerntemperatur über die Transpiration wieder herstellen. Eine Ziege dagegen setzt den Mechanismus der Transpiration auch während des Rennens ein, so daß ihre Körperkerntemperatur keine derartigen Schwankungen aufweist wie die des Geparden (TAYLOR & ROWENTRY 1973). Auch der Hyänenhund (*Lycaon pictus*) läßt seine Körperkerntemperatur während der Hetzjagd bis auf 41,2 °C ansteigen. Seine Transpirationsmechanismen sind dabei nicht vollkommen gehemmt, aber eingeschränkt. Diese Einschränkung könnte ein Mechanismus zur Einsparung von Energie sein, um die Beute über längere Strecken verfolgen zu können (TAYLOR *et al.* 1971). TAYLOR *et al.* (1970) ermittelten über den Sauerstoffverbrauch eine für jede Tierart spezifische Konstante für den Energieverbrauch beim Rennen. Über diese Konstante wurde dann die Wärmeproduktion berechnet. Die Ergebnisse sollten unter Einsatz der Infrarot-Thermographie in freier Wildbahn nach dem Schema von PHILLIPS (1992) überprüft werden. Nach PHILLIPS (1992) kann die allgemeine Oberflächentemperatur sowie die Temperatur spezifischer Wärmeaustauschregionen während der Jagd festgestellt werden. Über die von ihr entwickelten Formeln und die Wärmeabgabe, die mittels Infrarot-Thermographie gemessen wird, könnte dann die Wärmeproduktion direkt berechnet werden. Eine Kombination von Rektal- und Oberflächentemperatur würde genauere Aussagen zum Leistungsstoffwechsel der Karnivoren und anderer Tierarten ermöglichen. An den Beispielen von Gepard und Hyänenhund wird deutlich, daß die über viele Jahrzehnte angenommene Homoiothermie bei einigen oder sogar vielen Säugetieren unter bestimmten Umständen nicht so ausgeprägt ist, wie immer angenommen wurde. Viele Säugetiere zeigen in Phasen ihres Lebens eine mehr oder weniger starke Heterothermie, die auch bei starker Hitzebelastung ohne körperliche Anstrengung auftreten kann.

Einige Tierarten besitzen die Fähigkeit, ihre Temperatur im Körperkern während des Tagesablaufes, also zyklisch schwanken zu lassen. In der Wüste läßt das Dromedar (*Camelus dromedarius*) z. B. seine Kerntemperatur zwischen 34 °C am Morgen und 41 °C am Abend schwanken, um so weniger Wasser durch Verdunstung zu verlieren (SCHMIDT-NIELSEN *et al.* 1957, SCHROTER *et al.* 1989). Auch die Elenantilope und Beisa-Oryx lassen ihre Körperkerntemperatur während des Tages langsam ansteigen. Diese Antilopen speichern im Verlauf des Tages exzessive Wärme und geben sie nachts wieder ab (TAYLOR 1969b). Dieses Temperaturverhalten wurde später von LANGMAN & MALOIY (1989) als „passive obligatorische Heterothermie“ bezeichnet. Ähnliches Verhalten wie Dromedar, Elenantilopen und Beisa-Oryx zeigen auch Giraffen (*Giraffa camelopardalis*) (LANGMAN & MALOIY 1989), Breitmaulnashörner (*Ceratotherium simum*) (ALBROOK *et al.* 1958), Guanakos (DeLAMO 1989) und Kaffernbüffel (*Syncerus caffer*) (BLIGH & HARTHOORN 1965). Auch verschiedene kleine Antilopenarten zeigen eine solche Heterothermie, aber in etwas abgewandelter

Form. Kleine, schnelle Antilopen wie Grant's Gazelle (*Gazella granti*) und Thomson's Gazelle (*Gazella thomsonii*) lassen ihre Körperkerntemperatur während des Tages rasch über die Umgebungstemperatur ansteigen. Große, schnelle Antilopen wie Elanantilope und Weißbartgnu (*Connochaetes taurinus*) lassen sie langsamer steigen (TAYLOR & LYMAN 1972, TAYLOR 1970b). Die Fähigkeit der schnellen Wärmeaufnahme der kleinen Antilopen erlaubt den Tieren, einen neuen Gradienten zur Umgebung aufzubauen, so daß keine weitere Wärme durch Konvektion, Konduktion oder Radiation aufgenommen werden muß. Kleine Antilopen sind im Gegenteil dann sogar in der Lage, Wärme abzugeben (LOUW 1993).

Die obligate Heterothermie stellt eine ähnliche Änderung der Körperkerntemperatur dar, wie dies bei Fieber anzutreffen ist. Bei beiden Temperaturänderungen wird der Istwert der Körperkerntemperatur auf einen neuen Sollwert erhöht. Beim Fieber erfolgt eine Sollwert-Erhöhung auf Grund der Einwirkung exogener und endogener Pyrogene (JESSEN 2000), bei der Heterothermie auf Grund exogener Hitze. Bei letzterer senkt sich die Kerntemperatur nachts wieder ab, beim Fieber muß dies nicht geschehen.

Auch wenn der Tierkörper einen Anstieg der Temperatur im Körperkern bis zu einem Grenzwert toleriert, darf die Temperatur im Gehirn diesen Schritt nicht nachvollziehen, da Nervengewebe empfindlich ist. Kamele, Schweine, alle echten Ruminantia, Hunde- und Katzenartige verfügen daher über einen speziellen Mechanismus der Gehirnkühlung, das Rete mirabile oder „Wundernetz“ (LOUW 1993). Das Wundernetz ist ein Netz aus dünnwandigen Arterien, die entgegengesetzt parallel zu den Venen des Sinus cavernosus verlaufen. Zwischen den Blutgefäßen wird die Wärme aus den Arterien an das kühle Blut der Venen abgegeben. Dadurch fließt vorgekühltes Blut zum Gehirn. Das Tier hält so die Gehirn-Temperatur einige Grad unter der Körperkerntemperatur (BARNET & MARDSEN 1961). Besonders bei an Wüstenklima angepaßten Säugetieren ist dieses System wichtig (BAKER 1982). Sprinter, Hetzjäger und Dauerläufer können so trotz heißer Umgebungstemperaturen auf Beutejagd gehen oder größere Distanzen überwinden. Dieser Kühlmechanismus für das Gehirn hat jedoch seine Grenzen. Der Gepard und das Dromedar z.B. stoppen jede weitere Anstrengung, wenn die Körpertemperatur im Kern auf 40,5 °C ansteigt, denn dann reicht der Mechanismus des Wundernetzes nicht mehr aus, um das Gehirn genügend kühl zu halten (SCHROTER *et al.* 1989). Nervenzellen können geschädigt werden.

Pferde verfügen wie alle Equiden über einen ausgeprägten Sinus cavernosus, nicht jedoch über ein Wundernetz. Dieser Sinus führt abgekühltes Blut aus den oberen Atemwegen. Die Anatomie des Pferdes ist hier verschieden von der der Karnivoren oder Wiederkäuer. Der Anteil des Nasenraumes und der Nasenmuscheln am Schädelvolumen ist bei ersteren höher. Für eine intensivere Atmung kann das Pferd seine Nüstern stark erweitern und so den Luftstrom beschleunigen (DICE *et al.* 1991). Der Nasenraum mit den Nasenmuscheln der Equiden scheint eine ähnliche Funktion zu haben wie das Wundernetz-System der Paarhufer. Das arterielle Blut wird vor Eintritt in das Gehirn durch indirekten Wärmeaustausch mit der Atemluft gekühlt, nicht jedoch im direkten Gegenstromprinzip (SCHROTER *et al.* 1989, McCONAGHY *et al.* 1995). Pferde zeigten in den Versuchen von McCONAGHY *et al.* (1995) erstaunliche Leistungen bei der Kühlung des Sinus cavernosus. In einer Klimakammer wurden Pferde künstlich auf 41,5 °C Körperkerntemperatur bei 53 °C Umgebungstemperatur und 90 % relativer Luftfeuchtigkeit erwärmt. Das Blut im Sinus hatte während des Experimentes eine um 2,2 °C geringere Temperatur als der Körperkern. Bei sich anschließenden Belastungs-

experimenten wurden die Pferde bis auf eine Körperkerntemperatur von 42,5 °C gebracht. Trotz dieser extremen Wärmebelastung wies das Blut des Sinus eine um 5,0 °C tiefere Temperatur als der Kern auf. Pferde besitzen also trotz Fehlens eines Rete mirabile ein effektives Kühlsystem für das Gehirn. Die Wichtigkeit dieser Wärmeaustauschregionen des Körpers, besonders der Nasenregion bei Tieren und Menschen, stellten schon SCHOLANDER (1958) und JACKSON & SCHMIDT-NIELSEN (1964) fest. Im Infrarot-Bild war bei Equiden die kühle Nasenregion auffällig (EULENBERGER & KÄMPFER 1994). Ob dies immer der Fall ist, muß noch geklärt werden. Für die Interpretation von Infrarot-Thermogrammen sind die Kenntnisse tierartlicher Besonderheiten wie der hier erwähnten äußerst wichtig, da sonst leicht Fehldiagnosen gestellt oder Fehlinterpretationen gemacht werden könnten.

Der Wärmeaustausch eines Tieres mit seiner Umwelt findet immer über die Körperoberfläche, also z.B. über die Spitze der Fellhaare oder der Federn, nicht jedoch über die eigentliche Haut statt, es sei denn das Tier hat kein Fell (SCHMIDT-NIELSEN 1984). Das bedeutet für die Physiologie, daß nur die echte Oberflächentemperatur wichtig ist, nicht jedoch die Hauttemperatur. Nur Erstere sollte daher in physiologischen Modellen berücksichtigt werden, wenn der Wärmeaustausch mit der Umgebung berechnet werden soll. Die Infrarot-Thermographie ist hier eine einfache und effektive Methode zur Messung der Oberflächentemperatur eines Tieres ohne Streß und ohne Klimakammer. Die für den Wärmeaustausch eingesetzten Regionen des Tierkörpers werden in den Infrarot-Bildern deutlich, was bei allen anderen Methoden nicht der Fall ist (DeLAMMO & HEATH 1985, MOHLER & HEATH 1988a, KLIR *et al.* 1990, KLIR 1991, PHILLIPS & HEATH 1992, PHILLIPS & SANDBORN 1994). Wie PHILLIPS (1992) beweisen konnte, findet der Wärmeaustausch bei allen ein langes Fell tragenden Säugetieren nur über die thermischen Fenster statt.

Allgemein kann gesagt werden, daß ein Tier nur dann effektiv endotherm ist, wenn es eine genügend hohe Kapazität der Wärmeproduktion hat und die Fähigkeit besitzt, den Wärmeaustausch zwischen seinem Körper und der Umwelt gezielt zu steuern (HOCH-ACHKA & SOMERO 1984). Auch wenn es keine saisonale Veränderung im Grundumsatz gibt (IRVING *et al.* 1955), können Tiere im Winter eine erhöhte Kältetoleranz ausbilden (HELDMEIER *et al.* 1986) oder im Sommer ihr Fell gegen eine dünneres auswechseln (IRVING 1962, CASEY *et al.* 1979). Eine dicke Haut kann ebenfalls eine gute Isolierschicht bilden (TREGGEAR 1965). Ein in der Arktis lebendes Tier mit einem Gewicht von 5 kg hat die gleiche Isolierung pro Einheit Körperoberfläche wie ein Tier von 500 kg. Das bedeutet, daß der Wärmeverlust proportional der Oberfläche ist (SCHOLANDER *et al.* 1950c) bzw. proportional zu Teilen der Oberfläche, den thermischen Fenstern (PHILLIS 1992). Tiere unter 5 kg Gewicht verhalten sich anders: Sie halten im Winter meist Winterschlaf, da ihre geringe Körpermasse die Stärke der Isolierschicht begrenzt. In Versuchen in Klimakammern konnten diese Tiere im Gegensatz zu größeren ihre Körpertemperatur um mehrere Grade absenken (FRENCH 1988). Ein arktisches Hörnchen (*Spermophilus parryii*) senkte seine Temperatur sogar bis auf -2,9 °C im Körperkern, ohne einzufrieren (BARNES 1989). Die Masse eines Tieres, die Dicke der Isolierschicht und die Menge an Wärme, die ein Tier über seinen Stoffwechsel produzieren kann, sind die ausschlaggebenden Faktoren für die Abgrenzung endothermer von ektothermen Tieren (TRACY 1977, McNAB 1983).

3.0 Physikalische Grundlagen der Infrarot-Thermographie

3.1 Infrarot-Strahlung

Infrarot-Strahlung gehört wie das sichtbare Licht zur elektromagnetischen Strahlung. Sichtbares Licht weist Wellenlängen zwischen $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ auf. Die Infrarot-Strahlung liegt im Wellenlängenbereich von $0,7 \mu\text{m}$ bis über $30 \mu\text{m}$, grenzt also direkt an das sichtbare Licht an. Die Infrarot-Strahlung wird in verschiedene Abschnitte unterteilt: „Nahes“, „mittleres“, „fernes“ sowie „extremes“ Infrarot. Die sogenannte Temperatur- oder Wärmestrahlung gehört zum Infrarot-Bereich (BREUCKMANN 1993, GAUSSORGUES 1994). Da die Wellenlänge der Infrarot-Strahlung lang ist, ist die Energie der Strahlung niedrig (GAUSSORGUES 1994).

Unter dem Begriff „Temperatur- oder thermische Strahlung“ versteht man das Phänomen, daß jeder Körper mit einer Temperatur, die über dem absoluten Nullpunkt (0 K oder -273 °C) liegt, elektromagnetische Strahlung emittiert. Max Planck ermittelte im Jahr 1900 den theoretischen Zusammenhang zwischen der spektralen Wärmestrahlung eines Objektes und seiner Temperatur. Dieser Zusammenhang schlug sich in der Aufstellung des PLANCK'schen Strahlungsgesetzes nieder: Die spektrale Energiedichte eines „schwarzen Strahlers“ ist abhängig von der Wellenlänge und der Temperatur. Ein „schwarzer Strahler“ oder „schwarzer Körper“ ist ein Körper, auch ein Lebewesen, der oder das die gesamte einfallende Strahlung absorbiert, sich somit aufheizt und infolgedessen optimal Wärmestrahlung abgibt. Die Bezeichnungen „schwarzer Körper“ oder „schwarzer Strahler“ sind mißverständlich gegenüber dem Begriff „schwarz“ aus der Menge der im allgemeinen Sprachgebrauch üblichen Bezeichnungen für die verschiedenen Spektralfarben. Allen gemein ist nur die totale Absorption der einfallenden Strahlung. Die Strahlungsintensität ist nach dem PLANCK'schen Gesetz abhängig von der Temperatur des Strahlers. Über diese Abhängigkeit kann die genaue Temperatur bestimmt werden. Die Zusammensetzung des Spektrums der Wellenlängen, die ein Strahler aussendet, ist abhängig vom Material. Diese Abhängigkeit wird bei der Wahl des Detektors berücksichtigt, also schon bei der Auswahl des Infrarot-Systems vor Beginn der Untersuchung (GAUSSORGUES 1994). Die Fragestellung der durchzuführenden Arbeit ist also schon für die Wahl der Infrarot-Kamera entscheidend.

Unter Emission versteht man die Aussendung einer Wellen- oder Teilchenstrahlung. Ein schwarzer Strahler hat einen Emissionsgrad $\varepsilon = 1,0$, da er alle Strahlen, die er absorbiert auch wieder abgibt. Ein realer Körper absorbiert im Vergleich dazu nicht alle Strahlen, sendet also entsprechend auch weniger Infrarot-Wärmestrahlungen aus und wird daher als „grauer Körper“ bzw. „grauer Strahler“ bezeichnet. Ein grauer Strahler ist ein Körper, dessen Emissionsgrad ε unter dem Wert „eins“ liegt, also zwischen „null“ und „eins“ (BREUCKMANN 1993).

Der Emissionsgrad ist eine Funktion aus Wellenlänge, Temperatur, Oberflächenbeschaffenheit und Beobachtungswinkel (GAUSSORGUES 1994). Jeder Stoff hat einen stoffspezifischen Emissionsgrad. Dieser stoffspezifische Emissionsgrad wird aus dem Verhältnis der spektralspezifischen Ausstrahlung des untersuchten realen Körpers zu dem des „schwarzen Strahlers“ ermittelt. Für diverse Tierarten wird der Emissionsgrad

in der Literatur mit 0,96 (0,95 bis 0,97) angegeben (WATSMOUGH *et al.* 1970, GANSSEN 1971, BERBIGER 1975, PHILLIPS 1992). HAMMEL (1956) gibt sogar Werte von 0,98 bis 1,00 für verschiedene arktische Tierarten an, wobei diese Untersuchungen aber an gefrorenen Tieren bzw. getrockneten oder gegerbten Fellen durchgeführt wurden. Die Emission für den nackten Menschen in thermoneutraler Umgebung wird ebenfalls mit Werten von 1,00 (DRAPER & BOAG 1971a), 0,99 (HARDY 1934a, 1934b, SHURAN & NELSON 1991) oder 0,98 angegeben (GAUSSORGUES 1994).

Je höher die Temperatur steigt, die ein Objekt innehat, desto kürzer wird die Wellenlänge, bei der die maximale Strahlung ausgesandt wird (WIEN'sches Verschiebungsgesetz). Ein Objekt mit einer Temperatur um 27 °C (300 K) emittiert eine maximale Infrarot-Strahlung bei einer Wellenlänge von 10 µm. Ein Mensch produziert z.B. bei 300 K eine Wärme von 0,05 Watt je Quadratcentimeter Körperoberfläche. Bei zwei Quadratmetern Oberfläche sendet er insgesamt eine Wärme von einem Kilowatt aus. Diese Wärme wird aber von der Kleidung reflektiert, so daß der Wärmeverlust eingedämmt wird (GAUSSORGUES 1994). Infrarot-Strahlung nimmt mit steigender Temperatur an Intensität stark zu (STEFAN-BOLZMANN'sches Gesetz). Bei Temperaturen weit über 1000 °C ist die Wellenlänge der abgegebenen Infrarot-Strahlung mit 4µm so kurz und so intensiv, daß das menschliche Auge sie als Weißglut wahrnehmen kann. Ein rötliches Licht wird schon bei viel kürzeren Wellenlängen ausgesandt. Das Wellenlängenspektrum reicht in das des sichtbaren Lichtes hinein (BREUCKMANN 1993).

Bei der Messung im Freien oder in einem Gebäude müssen die Einflüsse der Atmosphäre auf die Ausbreitung der Infrarot-Strahlung beachtet werden, da sie besonders bei großen Entfernungen das Meßergebnis stark beeinflussen. Der Einfluß der Atmosphäre kann aber gezielt berechnet und entsprechend angepaßt bzw. „korrigiert“ werden. Atmosphärische Einflüsse sind zum einen die Strahlungsdämpfung und zum anderen die Eigenstrahlung der Atmosphäre. Einige Bestandteile der Atmosphäre, wie Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O), in Höhen über 10 000 m auch Ozon (O₃), besitzen starke Absorptionsbanden im Infrarot-Wellenlängenbereich um 14 µm. Durch diese Absorption entsteht eine Dämpfung der Infrarot-Strahlung, die von der Wellenlänge abhängig ist (GAUSSORGUES 1994). Die Atmosphäre als ein „Körper“ mit einer Temperatur deutlich über dem absoluten Nullpunkt emittiert ihrerseits Eigenstrahlung in den Wellenlängenbereichen der Infrarot-Strahlung. Diese atmosphärische Eigenstrahlung überlagert sich additiv über die eigentliche Objektstrahlung (BREUCKMANN 1993).

Die verschiedenen Bereiche innerhalb der Infrarot-Strahlung eignen sich unterschiedlich gut für die Messung der Wärmestrahlung in der Infrarot-Thermographie. Die geeigneten Wellenlängenbereiche sind dadurch ausgezeichnet, daß sie eine geringere Dämpfung der Wärmestrahlung erfahren als die anderen. Man bezeichnet sie als „atmosphärische Fenster“ (GAUSSORGUES 1994). Für die Infrarot-Thermographie eignen sich die Wellenlängen von 1-2 µm („nahes Infrarot“), 3-5 µm („mittleres Infrarot“) und 8-14µm („fernes oder langwelliges Infrarot“). Im Bereich von 8-12µm treten Sonnenreflexionen geringer auf als bei 2-5 µm. Heutzutage kann die Sonnenreflexion aber durch sorgfältige mathematische Dämpfungskompensation oder durch die Verwendung von Filtern auch im Bereich 2-5 µm nahezu ausgeschaltet werden. Eine Entscheidung für den Einsatz eines Kurz- oder Langwellen-Infrarot-Meßsystems beruht daher heute viel mehr auf dem Kriterium der Emissionseigenschaften des Meßobjektes sowie auf der Detektorenleistung und der integrierten Computersoftware als auf der Sonnenreflexion oder der atmosphärischen Dämpfung der Infrarot-Strahlung (BREUCKMANN 1993).

3.2 Das Infrarot-Meßsystem

Ein komplettes Infrarot-Meßsystem besteht aus

- Infrarot-Kamera oder Infrarot-Scanner,
- einer Apparatur zur Darstellung und Speicherung der aufgenommenen digitalen Bildformate sowie
- einer digitalen Nachbearbeitungsanlage (Computer).

Kamera oder Scanner verwenden einen digitalen Übertragungsmodus, so daß unmittelbar digitale Bilder gespeichert werden können (BREUCKMANN 1993).

Die Optik

Infrarot- oder Wärmebild-Kameras arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip wie Videokameras oder Photoapparate. In der Infrarot-Meßtechnik sind analoge Komponenten wie Linsen, Spiegel, Filter und Analog-Digital-Wandler eingesetzt. Da Glas die Transmission von Infrarot-Strahlung bereits ab 2 μm einschränkt und ab 4,5 μm Wellenlänge verhindert, kann es für die Herstellung von Linsen in der Infrarot-Meßtechnik nicht eingesetzt werden. Für Linsen sind nur speziell infrarot-durchlässige Materialien wie Silizium, Germanium, Zinkselenit, Zinksulfit usw. geeignet. Über die Linsen werden die Infrarot-Strahlen gebündelt und weitergeleitet (BREUCKMANN 1993).

Durch einen hohen Transmissionsgrad der Linsen und einen hohen Reflexionsgrad der Spiegel wird die Qualität des Infrarot-Systems bestimmt. Je höher die Qualität des Systems, desto feiner die mögliche Temperaturauflösung. Eingesetzte Materialien dürfen im Infrarot-Meßsystemen nur wenig Eigenstrahlung emittieren, da diese die Strahlung des Objektes additiv als Störstrahlung überlagert (GAUSSORGUES 1994). In die Kamera ist deshalb ein kompliziertes System zur Unterdrückung von Störfaktoren eingebaut. Blenden schirmen Streustrahlungen aus dem Inneren der Kamera und aus den Randbereichen der Linse ab. Bis vor kurzem wurde die Blende vor dem Detektor gekühlt, um die Eigenstrahlung des Blendenmaterials gering zu halten (BREUCKMANN 1993). Neuste Infrarot-Kameras (z.B. Thermovision® 570) haben heute ein integriertes Computerprogramm, mit dem diese Störstrahlung in einem Eichverfahren aus den Ausgabewerten herausgerechnet wird (AGEMA 1998).

Zoom-Objektive zur stufenlosen Vergrößerung der Abbildungen findet man in der Infrarot-Thermographie nicht. Sie sind bei messenden Systemen kaum realisierbar, da jede Vergrößerungsstufe individuell kalibriert werden müßte. Für ein gutes Infrarot-System stehen jedoch kalibrierte Wechselobjektive mit fester Brennweite zur Verfügung (BREUCKMANN 1993). Für die hier verwandten Systeme der Firma AGEMA/FLIR gibt es Objektive mit 7, 12 und 24 Grad Öffnungswinkel.

Detektoren

In der Infrarot-Meßtechnik werden Systeme mit einem oder mehreren Infrarot-Detektoren verwendet. Infrarot-Detektoren haben die Aufgabe, die einfallende Wärmestrahlung in ein elektrisches Signal umzuwandeln. Sie sind damit das zentrale Bauelement eines Infrarot-Systems. Betrachtet man eine Infrarot-Kamera von vorn, ist der Detektor optisch mit der silbrig glänzenden Linse identisch. Er entspricht der äußersten Linse einer Videokamera.

Die leistungsfähigsten Detektoren für Infrarot-Systeme sind Quantendetektoren. Quantendetektoren sind Halbleiter, in denen einfallende Infrarot-Quanten (Photonen) Elek-

tronenpaare erzeugen (Innerer lichtelektrischer Effekt) oder Elektronen aus einer Verbindung herauslösen (Äußerer lichtelektrischer Effekt). Je intensiver die einfallende Strahlung ist, desto mehr Elektronen werden erzeugt bzw. freigesetzt. Über die ausgelösten Elektronen wird dann quantitativ ein elektrischer Strom erzeugt. Die Materialien der Halbleiter bestimmen dabei, welche Infrarot-Strahlung mit dem Detektor gemessen werden kann, zeigen also stark wellenlängen-abhängige Charakteristiken. Einige Materialien wie Germanium-Zink-Halbleiter eignen sich für die Messung im Wellenlängenbereich 9-15 μm , andere wie Blei-Selen für 2-5 μm , Cadmium-Quecksilber-Tellur für die beiden Bereiche 2-5 μm und 7-12 μm . Quantendetektoren arbeiten schnell und sind empfindlich. Das Detektormaterial sollte je nach Anwendungsbereich der Infrarot-Kamera ausgewählt werden (GAUSSORGUES 1994).

Am Beispiel einiger ausgewählter Detektor-Parameter ist zu erkennen, wie sich die Detektor-Eigenschaften auf die Leistungsfähigkeit des gesamten Infrarot-Systems auswirken. Dies ist gut in der Arbeit von BREUCKMANN (1993) zusammengestellt und wird hier in verkürzter Form zum Verständnis der Technik wiedergegeben:

Die Zeitkonstante: Bei plötzlich einsetzender Strahlung benötigt der Detektor eine gewisse Zeit, sein der Strahlung entsprechendes Ausgangssignal zu erreichen. Die Zeitkonstante limitiert damit die Scan-Geschwindigkeit. Die Zeit bis zum Erreichen der Ausgangsstrahlung ist konstant. Eine höhere Auflösung des Infrarot-Bildes ist nur mit einer niedrigeren Scan-Geschwindigkeit zu erreichen. Eine Erhöhung der Scan-Geschwindigkeit pro Zeiteinheit ist nur auf Kosten der Auflösungsqualität zu erzielen.

Die äquivalente Rauschleistung: Sie gibt an, welche auf den Detektor auftreffende Strahlungsleistung gerade noch nachweisbar ist, d.h. den Störabstand (Signal-Rausch-Verhältnis) von 1 ergibt. Die geringste, noch detektierbare Strahlungsänderung bestimmt die Temperaturlösung des Infrarot-Systems.

Detektor-Empfindlichkeit: Sie gibt das Ausgabesignal (Strom oder Spannung) pro Einheit der auftreffenden Strahlungsleistung an. Das Infrarot-Strahlungs-Nachvermögen ist eine davon abgeleitete Größe, in die außerdem die Detektorfläche und der Störabstand eingehen.

Detektor-Fläche: Die Detektor-Fläche ist die Fläche, die der Detektor einnimmt. Je kleiner die Fläche ist, um so höher ist die geometrische Auflösung des Systems. Bei kleiner Detektorfläche sinkt die Detektor-Empfindlichkeit und der Störabstand steigt an.

Detektor-Kühlung: Da fast alle Detektor-Parameter, insbesondere das Rauschen, von der Temperatur abhängen, mußten die Detektoren bis vor kurzer Zeit während des Betriebes auf eine definierte Arbeitstemperatur gekühlt werden. Für Langwellen-Detektoren mußte die Temperatur des Detektors tiefer sein als für kurzwellige. Betriebstemperaturen für Kurzwellen-Detektoren lagen zwischen $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei Langwellen-Detektoren zwischen $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Die neuste Entwicklung erlaubt das Arbeiten ohne Detektor-Kühlung, auch im Langwellenbereich. In einem internen Computerprogramm wird die Störstrahlung berechnet und aus den Ausgabewerten herausgerechnet. Das Model Thermovision[®] 570 der Firma AGEMA ist das erste Gerät auf dem Markt mit dieser Technik (AGEMA 1998).

Es gab verschiedene physikalische Kühlverfahren, von denen sich drei in der Praxis der Thermographie bewährt hatten: Direktkontakt-Kühlung mit Flüssiggas (Stickstoff), Thermoelektrische Kühlung und die Stirling-Kühlung, eine Art Kältemaschine. Die älteren Infrarot-Kameras der Firma AGEMA bedienten sich der Thermoelektrischen

Kühlung (Thermovision® 470) (AGEMA 1989) oder der Stirling-Kühlung (Thermovision® 550) (AGEMA 1996).

Signalverarbeitung

Bei einer Kamera mit nur einem Infrarot-Detektor wird, analog zur Fernstechnik, das Meßobjekt mit Hilfe von rotierenden Spiegeln oder Prismen in zwei Richtungen horizontal bzw. vertikal abgetastet. Dieses System liefert serielle Bildformate. In einem Mehrdetektoren-System kann eine Abtastung des Meßobjektes gleichzeitig für verschiedene Zeilen und Spalten erfolgen. Somit ist ein schnelleres Parallelschannen möglich. Mehrdetektoren-Systeme liefern wegen der höheren, durch die Detektor-Zeit-Konstante vorgegebene Grenze entweder eine höhere Auflösung der Einzelbilder oder eine höhere Bildfrequenz als die Einzeldetektor-Systeme.

Bei der Signalverarbeitung wird das von dem Detektor (Sensor) ausgehende Signal in ein digitales Signal verarbeitet. Dabei sollte die Leistungsgrenze des Detektors die Leistungsgrenze des Signals bzw. der Datenverarbeitung bestimmen. Das erfordert eine rauscharme lineare Elektronik mit einer frühzeitigen Digitalisierung und ausreichender Digitalisierungstiefe. Heute werden für die Digitalisierung des Bildmaterials mindestens 12 bit Analog-Digital-Wandler eingesetzt. Modernste Systeme setzen 14 bit Digitalwandler ein (AGEMA 1998).

Die digitale Speicherung der gesamten Bildinformation einschließlich wichtiger Systeminformationen, wie z.B. Datum, Uhrzeit, eingesetzter Filter etc., müssen auch bei sich bewegenden Objekten im Echtzeitverfahren speicherbar sein. Die Echtzeit-Datenspeicherung erfaßt auch bei einer maximalen Bildrate von 20 Bildern pro Sekunde die Systemkonfiguration, Einstellungen zum Zeitpunkt der Aufnahme wie Meßbereich, Apparatur, Filter, Objektiv etc. Die Aufnahmeeinstellungen können dann später bei der Auswertung berücksichtigt werden. Die Außentemperatur sollte gesondert mit einem Thermometer gemessen werden. Bei den AGEMA-Systemen kann zusätzlich ein Sprachkommentar mit bis zu 30 Sekunden Länge zu jedem Bild gespeichert werden, was für die Untersuchungen hier wichtig war. So konnten z.B. die Tierart, das Individuum, die Außentemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit sowie das Verhalten des untersuchten Tieres und anderes gleich im Infrarot-Bild gespeichert werden.

Systemparameter

Die wichtigsten Parameter zur Beurteilung eines Infrarotsystems sind die optisch-elektrischen Eigenschaften der Kamera (des Scanners).

Nach BREUCKMANN (1993) sind die drei wesentlichen Qualitätskriterien:

1. Geometrische Auflösung: Die Mindestgröße eines Objektes, das mit einem Infrarot-System noch exakt gemessen werden kann.
2. Thermische Auflösung: Die Fähigkeit eines Infrarot-Gerätes, kleinste Temperatur- bzw. Strahlungsschwankungen noch sicher aufzulösen und darzustellen.
3. Genauigkeit, Stabilität, Reproduzierbarkeit: Die bestmögliche Unabhängigkeit des Infrarot-Bildes oder Meßergebnisses von wechselnden äußeren Umweltbedingungen. Sie ist das wichtigste Element an einem Infrarot-Meßsystem.

4.0 Tiere, Material und Methoden

4.1 Tierarten, Untersuchungsorte und Ausrüstung

Tierarten und Bildzahlen

Tierarten: In die Arbeit gingen folgende Tierarten ein (Details siehe Anhang 2):

Säugetiere: 100 Arten
Vögel: 22 Arten
Reptilien: 5 Arten

Bildzahlen: (gelistet nach Untersuchungsgebiet, unabhängig vom Ergebnis)

Gesamtzahl: ca. 4800 Infrarot-Bilder
Thermoregulation: ca. 800 Infrarot-Bilder
Trächtigkeits-Untersuchungen: ca. 2000 Infrarot-Bilder
Entzündungsdiagnostik: ca. 1000 Infrarot-Bilder
Wildtierforschung: ca. 1000 Infrarot-Bilder

Untersuchungsorte mit „Kurzbezeichnungen“

Die für diese Arbeit erhobenen Messungen wurden in verschiedenen europäischen Zoologischen Gärten vorgenommen. An erster Stelle stehen die Zoologischen Gärten von Berlin, fortan genannt „Zoo Berlin“ (Dezember 1996 bis Dezember 1999) und Leipzig, genannt „Zoo Leipzig“ (1997 bis 1999). Weitere Datenerhebungen erfolgten im Tierpark Berlin-Friedrichsfelde, fortan „Tierpark Berlin“ (1997), im Zoologischen Garten Zürich, dann „Zoo Zürich“ (1997) und im Serengeti Safari Park Hodenhagen, abgekürzt als „Zoo Hodenhagen“ (1998). Einzeluntersuchungen wurden zwischen August und September 1997, im Februar 1998 und im Dezember 1999 an diversen anderen Zoos (Basel, Chester, Dvur Králové nad Labem „Dvur Králové“, Erfurt, Münster, Nürnberg, Osnabrück, Rotterdam und Winchester „Marwell Zoo“) sowie im Februar 2000 im National Zoological Garden Pretoria, Südafrika durchgeführt. Freiland-Untersuchungen an Wildtieren fanden im Februar 2000 im Lichtenburg Game Breeding Centre, Südafrika und im Serengeti Nationalpark und in der Ngorongoro Crater Conservation Area, Tansania statt.

Infrarot-Kameras

Die Untersuchungen erfolgten jeweils mit einer Infrarot-Kamera der Firma AGEMA, Modelle Thermovision® 470, 550 und 570. Modell Thermovision® 470 hatte noch ein Stirling-gekühltes System, Modell Thermovision® 550 schon ein thermoelektrisches. Modell 570 benötigte kein Kühlsystem mehr. Die Ausgabewerte wurden bei dieser Kamera über ein Computerprogramm auf Geräte-interne Streustrahlung korrigiert. Im Dezember 1996 wurden die Modelle 470 und 550 parallel verwendet. In Abbildung 5 sind die Modelle Thermovision® 470 und 550 der Firma AGEMA dargestellt. Modell 570 gleicht äußerlich dem von Thermovision® 550. Der Kamerateyp 570 wurde ab Februar 1998 eingesetzt und auch für die Freiland-Untersuchungen in Afrika im Februar 2000 verwandt. Für die Kameras wurde meist ein 24 Grad Objektiv verwandt. In seltenen Fällen konnte ein Teleobjektiv von 12 Grad zum Einsatz kommen.

Aus finanziellen Gründen konnte keine Kamera über eine längere Zeit als ein Wochenende ausgeliehen werden mit Ausnahme einer einwöchigen Tour zu verschiedenen

deutschen und europäischen Zoologischen Gärten im August/September 1997. Die Anschaffung einer Kamera war ebenfalls nicht möglich. Die Kosten für das Modell Thermovision® 470 beliefen sich im Dezember 1996 auf DM 250.000, die für Modell 570 im Januar 1998 noch auf DM 100.000. Aufgrund der Neuheit der Methode konnte für einen Gerätekauf kein Geldgeber gefunden werden, so daß diese Arbeit auf die großzügigen Kamera-Leihangebote der Firma AGEMA – Deutschland, der Firma M.U.T.Z. (Mobiles Umwelt Technik Zentrum), Berlin und dem Ingenieurbüro Dipl. Ing. Frank Zahorszki, Blösien, angewiesen war. Einzeluntersuchungen wurden auch mit den Firmen Thermo Temp, Berlin, der Firma Reiners, Hermanns + Brockers Planung und Bauleitung, Harsum, und dem Institut für Textile Bau- und Umwelttechnik GmbH, Greven, durchgeführt. Alle Infrarot-Bilder sind über diese Zusammenarbeit entstanden.

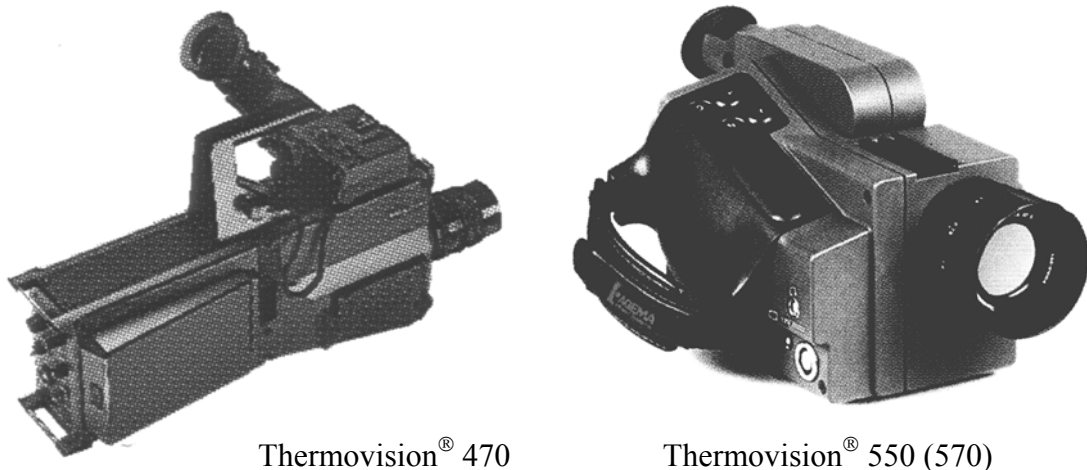


Abb. 5: Eingesetzte Infrarot-Kamera Modelle der Firma AGEMA

4.2 Vorgehensweise bei Infrarot-Untersuchungen

Voraussetzungen

Ein Tier sollte zur Untersuchung mittels Thermographie möglichst gut an die Umgebungstemperatur angepaßt sein und daher mindestens zwei Stunden vorher in den Stall oder auf die Außenanlage verbracht werden, je nach geplantem Untersuchungsort. Bei heißen Außentemperaturen oder intensiver Sonneneinstrahlung wurde bevorzugt im Tierhaus thermographiert. Nur in Ausnahmefällen mußten Aufnahmen auch bei Sonnenschein auf der Außenanlage gemacht werden.

Messung

Zuerst wurde die Infrarot-Kamera abgeglichen und auf die Untersuchungsbedingungen eingestellt. Beim Abgleichen am Untersuchungsobjekt stellt die Infrarot-Kamera automatisch eine geeignete Temperaturspanne ein, die aber jederzeit auch manuell verändert werden kann. Die Meßspanne wurde in dieser Arbeit je nach Fragestellung gewählt. Für Studien zur Thermoregulation war zunächst ein Übersichts-Thermogramm über das ganze Tier gefragt, so daß eine weite Temperaturspanne eingesetzt wurde. Für Detailuntersuchungen zur Trächtigkeit und in der Entzündungsdiagnostik waren fast immer Ausschnitte des Tierkörpers gefragt, so daß der Temperaturspanne enger gefaßt werden konnte. Bei den neueren Modellen Thermovision® 550 und 570 war die Einstellung weniger wichtig als bei älteren, da alle Temperaturwerte gespeichert wurden, ganz gleich ob die eingestellte Skala diese Werte beinhaltetete oder nicht. Das hatte den großen

Vorteil, daß im Nachhinein die Temperaturskala noch ausgeweitet werden konnte z.B. um weitere interessante Aspekte der Thermoregulation oder der Diagnostik zu untersuchen. Bei älteren Modellen wie Thermovision® 470 war die Meßskala nach der Messung nicht mehr erweiterbar.

Zu jedem untersuchten Individuum wurde möglichst mindestens ein Vergleichstier thermographiert oder, wenn schon Vergleichsmaterial in der Datenbank für diese Tierart vorhanden war, ein Vergleich mit diesem durchgeführt. Von Dezember 1996 bis Dezember 1997 wurden alle Aufzeichnungen mit der Infrarot-Kamera Thermovision® 470 auf Video mitgeschnitten, um die Tiere in Bewegung festzuhalten.

Abbildungen 6 bis 8 zeigen jeweils die Lage der gemessenen Areale, sowie die zugehörige namentliche Beschreibung des Areals. Wenn für die Ergebnisse noch andere Regionen vermessen wurden, sind diese in den Ergebnissen selbsterklärend benannt oder auch durch Pfeile markiert. Die Distanz zum Tier wurde so gewählt, daß sie möglichst gering war, um Details zu erkennen, aber dennoch groß genug, um auch Übersichtsaufnahmen zu erhalten. Von jedem Tier wurde versucht die rechte und linke Körperseite im Thermogramm festzuhalten. Bei Messungen der Wärmeabstrahlung über die Beinregionen konnten somit Werte für die Beininnen- und -außenseite aufgezeichnet werden. Das zu messende Areal wurde möglichst genau vertikal zur Kamera erfaßt, um die geringste Streuung der Infrarot-Strahlen zu erhalten. Die Auswahl der Meßpunkte auf der Körperoberfläche der Tiere erfolgte nach dem Prinzip einer möglichst umfassenden Sammlung von Daten zur Oberflächentemperatur. Es galt dabei tierartspezifische thermische Fenster oder Problemareale aufzudecken. Für die Trächtigkeitsdiagnostik konnte zusätzlich eine Sammlung von Thermogrammen von nichtträchtigen Tieren als Vergleichsmaterial zusammengestellt werden. In der Entzündungsdiagnostik wurden zunächst Übersichtsaufnahmen vom ganzen Tier erstellt und danach erst die nötigen Detailbilder. In den Infrarot-Studien zur Thermoregulation und medizinischen Diagnostik an Tieren in freier Wildbahn in Afrika konnten immer diverse Tiere auf Vergleichsthermogrammen festgehalten werden, aber auch die Umgebung, um einen Eindruck von der Strahlungsintensität letzterer zu erhalten.

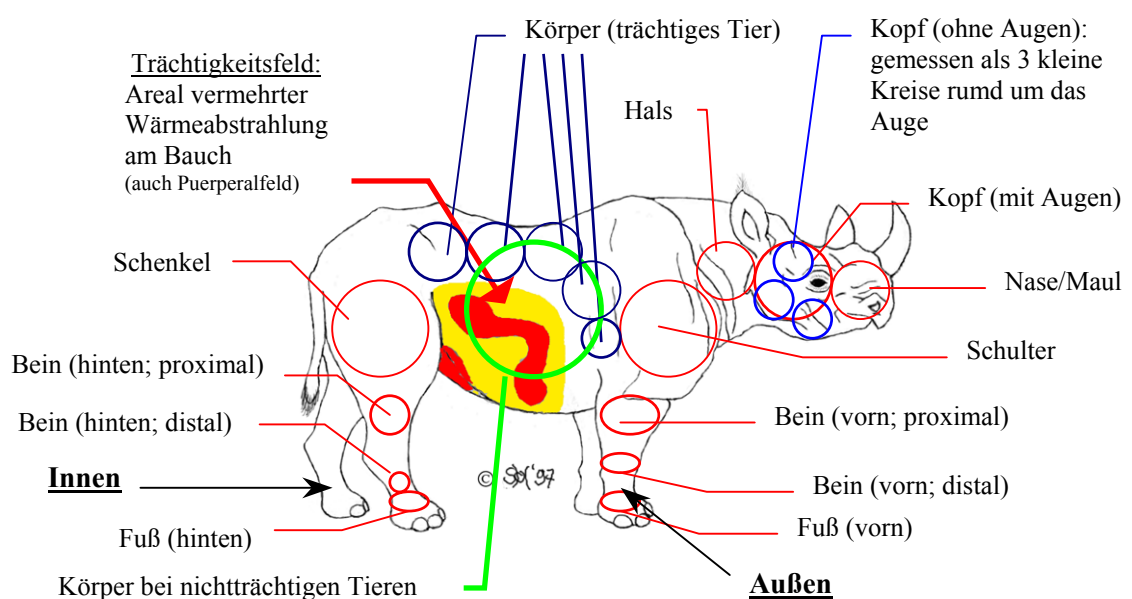


Abb. 6: Schema der Übersichtsmeßpunkte für die Infrarot-Thermographie

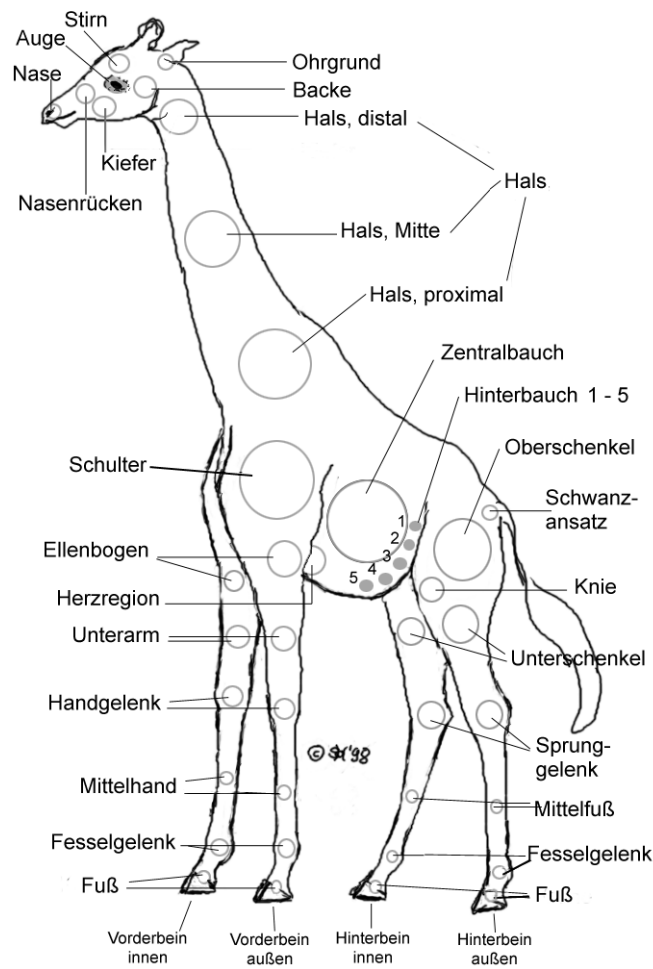


Abb. 7: Schema der Vermessungspunkte für Detailuntersuchungen bei der Infrarot-Thermographie

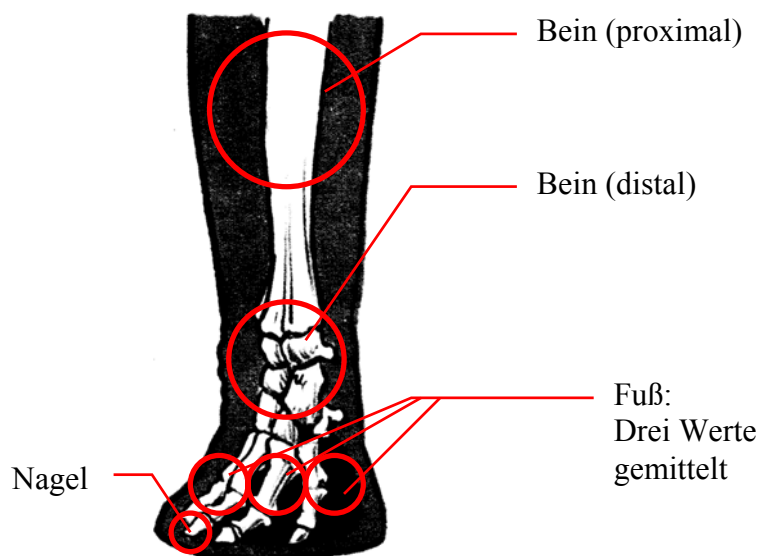


Abb. 8: Schema eines Elefantenfußes mit Meßpunkten für die Infrarot-Thermographie (modifiziert nach BÜRGER *et al.* 1980)

Meßprotokoll

Während oder nach Abschluß einer Messung wurde für jedes Tier ein Protokoll angefertigt mit den zugehörigen Randdaten:

- Alter, evtl. auch Geschlecht
- Umgebungstemperatur, wenn möglich mit relativer Luftfeuchtigkeit
- Untersuchungsort (Zoo; Stall/Außenanlage)
- Verhalten des Tieres vor und während der Untersuchung
- geschätzter Kamera-Tier-Abstand während der Infrarot-Aufnahmen
- Stichworte über die äußere Erscheinung des Tieres
- Bei Außenaufnahmen: Bewertung von Sonneneinstrahlung, Wind und Schatten

Für die Trächtigkeitsuntersuchung:

- Anamnese: seit wann vermutlich trächtig, wie oft schon trächtig etc.
- Wenn möglich, Verifizierung des Befundes nach der Geburt (Daten aus Tierbüchern) oder über Blut-, Urin- oder Kot-Hormon-Analysen

Für die Entzündungsdiagnostik:

- Anamnese: Befragung von Tierpfleger, Tierarzt, Kurator oder allen drei Personen
- Klinischer Befund: Adspektion des Tieres nach den Vorgaben von STÖBER (1990) unter besonderer Beachtung von:
 - Allgemeinzustand und Verhalten
 - Kratz- und Verletzungsspuren
 - Nässe und Verschmutzung
 - Zustand des Haarkleides
 - Umfangsvermehrung
 - Lahmheit
 - Befunde anderer Untersuchungsmethoden

Die Umgebungstemperatur der untersuchten Tiere wurde entweder aus den stallklimatischen Daten des jeweiligen Zoologischen Gartens gewonnen oder selbst mit einem Außenthermometer gemessen. Von jedem Individuum wurden möglichst viele Temperaturdaten für eine Gesamtansicht als Infrarot-Rohbilder gespeichert. Die Tiere wurden, wenn irgend möglich, von beiden Seiten, von Kopf bis Schwanz und von vorn bis hinten in ihrer Wärmeabstrahlung vermessen. Bei größeren Distanzen waren nur Darstellungen des ganzen Körpers möglich, da ein 12 Grad Teleobjektiv nur selten zur Verfügung stand.

Bildbearbeitung

Jedes rohe Infrarot-Bild wurde für die Auswertung zunächst mit den beschreibenden Daten wie Tierart, Individuum, Datum, Uhrzeit und Umgebungstemperatur sowie einem Situationsstichwort in einem Katalog erfaßt. Danach wurden für die Auswertung die ermittelten Randdaten in die Bilder eingegeben.

Kamera - Tier – Abstand: Das Infrarot-Kamera-Objektiv bestimmte die allgemeine Entfernung, bei der eine Messung noch sinnvoll war. Zur Auswertung der Ergebnisse am Computer mußte der geschätzte Abstand zum Tier eingegeben werden. Je größer der Abstand zum Tier ist, desto mehr Störgrößen können einfließen. Das Computerprogramm IRWIN 5.22 rechnet den atmosphärischen Rauschanteil nach Eingabe von Entfernung und Umgebungstemperatur automatisch heraus.

Umgebungstemperatur: Durch Eingabe der korrekten Umgebungstemperatur können absolute Werte der Wärmeabstrahlung gemessen werden. Das Computerprogramm IRWIN 5.22 für die Infrarotbild-Auswertung korrigiert die Bilder automatisch auf Störgrößen.

Einstellung des Emissionsgrades: Der Emissionsgrad wurde entsprechend den Angaben von BERBIGER (1975), GANSSEN (1971) sowie WATSMOUGH *et al.* (1970) immer auf 0,96 eingestellt.

Festlegung der Temperaturspanne: Die Temperaturspanne, die auf der Referenzskala eingestellt wurde, hatte keinen Einfluß auf die Genauigkeit der zu differenzierenden Oberflächentemperaturen, da alle Temperaturwerte digital kodiert waren. Die Referenzskala hat aber Einfluß auf die Detail-Erkennung der Infrarotbilder. Wenn die Referenzskala z.B. von 15 bis 35 °C reicht, also eine Spanne von 20 °C umfaßt, ist jede Farbstufe 1,0 °C groß. Bei einer Temperatureinstellung von 25 bis 27 °C, also einer Spanne von 2 °C, kann eine maximale Auflösung von 0,1 °C je Farbstufe erreicht werden. Eine enge Temperaturspanne hat den Nachteil, daß meist nur noch ein kleiner Teil eines Tieres darstellbar ist, da die Differenzen auf der Hautoberfläche meist größer als 2 °C waren. Die Temperaturwerte sind in der Farbpalette „Regenbogen-fein“ farbkodiert dargestellt. Rot korrespondiert in dieser Skala mit einer relativ höheren Temperatur als z.B. gelb. Die Reihenfolge der Farben von wärmer nach kälter ist rot, gelb, grün, blau, violett und pink. Ein Körperteil eines Tieres mit einer Abstrahlung oberhalb der Referenzskala wird rein-weiß, jedes unterhalb rein-schwarz dargestellt. Ein feiner schwarzer Strich in der Referenzskala zwischen der Farbskala und den korrespondierenden Temperaturwerten stellt die Meßwertspanne des Hauptstrahlers dar. Abbildung 9 zeigt eine Referenzskala, in der der Hauptstrahler nur einen Teil der Referenzskala in seinem Temperaturspektrum einnimmt, Abbildung 10 eine, bei der die Meßwerte des Hauptstrahlers innerhalb der Grenzen der Referenzskala liegen. Je nach Untersuchungsziel sollte die Temperaturspanne im Ausgabebild optimal eingestellt sein, so daß genügend Details zu erkennen sind, andererseits aber auch so, daß die Übersicht erhalten bleibt. Manchmal mußte ein Infrarot-Bild auch mit zwei verschiedenen Temperatur Meßbereichen ausgedruckt werden, um Detail und Übersicht bewerten zu können.

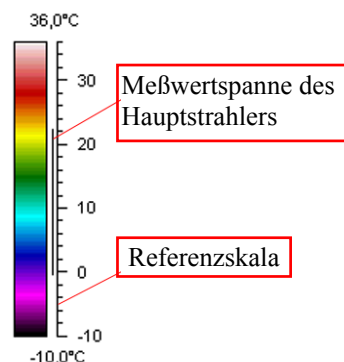


Abb. 9: Meßwertspanne kleiner als Referenzskala

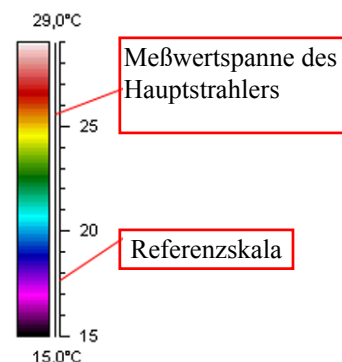


Abb. 10: Meßwertspanne größer als Referenzskala

4.3 Beispiele von Fehlerquellen beim Thermographieren

Die folgenden Infrarot-Bilder stellen Beispiele von technischen und biologischen Fehlerquellen mit ihrem Einfluß auf die Infrarot-Thermographie dar. Diese Gegebenheiten sollten beim Thermographieren berücksichtigt werden.

Technische Fehlerquellen

In den Abb. 11, 12 und 14 bis 16 ist der Einfluß von Metall-Gitterstäben in der Infrarot-Aufnahme dargestellt. An den Gittern wird die Wärmestrahlung gebrochen. Befinden sich die Gitterstäbe dicht vor der Kameralinse (Abb. 12), ist ihr Einfluß manchmal schwer auszumachen. Abb. 13 zeigt am Boden des Stalles eine Fußbodenheizung. Abb. 14 zeigt ein Tier auf der Außenanlage, welches gerade aus dem Stall gekommen ist und vorher lange Zeit auf der Fußbodenheizung gelegen hatte. Abb. 15 und 16 zeigen ein und dasselbe Bild in zwei verschiedenen Temperaturbereichs-Einstellungen. Im linken Bild ist die Einstellung schlecht gewählt, eine Differenzierung ist unmöglich.

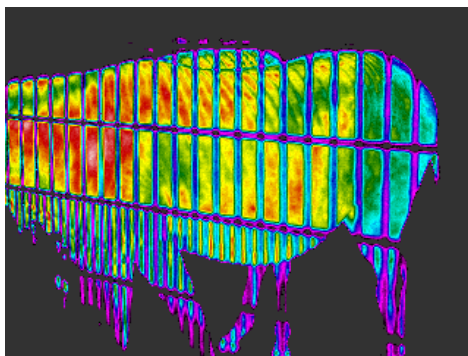


Abb. 11: Gitterstäbe: Großer Kamera-Abstand

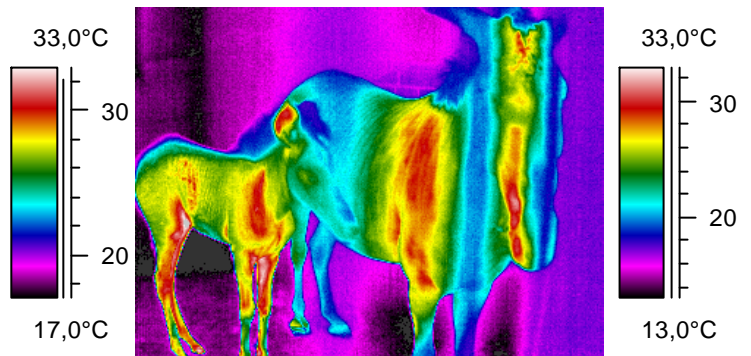


Abb. 12: Gitterstäbe: Kleiner Kamera-Abstand

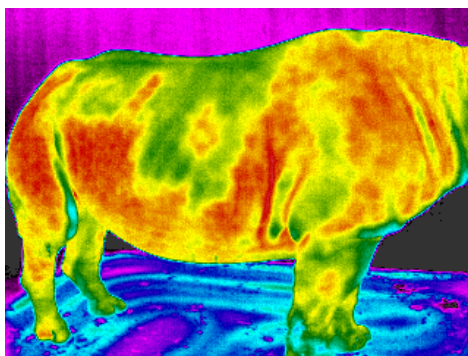


Abb. 13: Tier steht auf Fußboden-Heizung

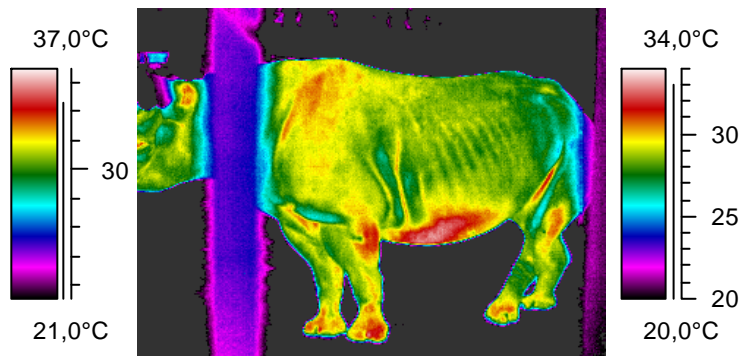


Abb. 14: Folge der Heiz-Einwirkung am Unterbauch

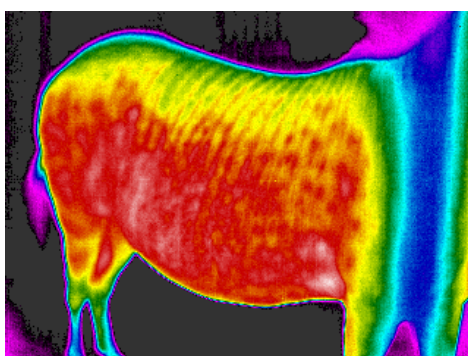


Abb. 15: Temperaturbereich nicht ausgeglichen

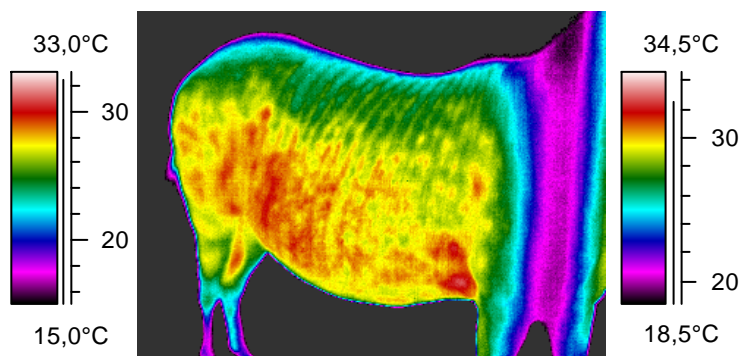


Abb. 16: wie Abb. 15: Temperaturbereich ausgeglichen

Biologische Fehlerquellen

Biologische Fehlerquellen bei der Thermographie sind z.B. Feuchtigkeit bzw. Wasser auf der Haut der Tiere (Abb. 17) oder eine ungenügende Adaptation an die Umgebungstemperaturen (Abb. 18). Bei beiden Situationen treten Fehlermessungen an der Körperoberfläche auf, die bei der Auswertung berücksichtigt werden müssen oder eine Auswertung vorübergehend sogar unmöglich machen können.

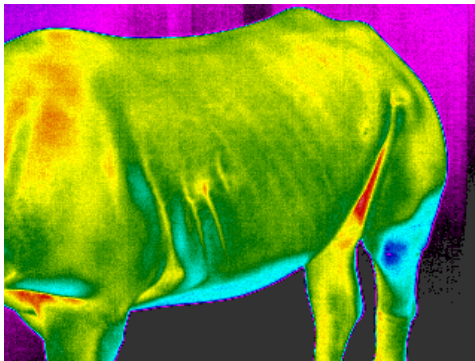


Abb. 17: Tier ist am Bauch / Bein feucht (naß)

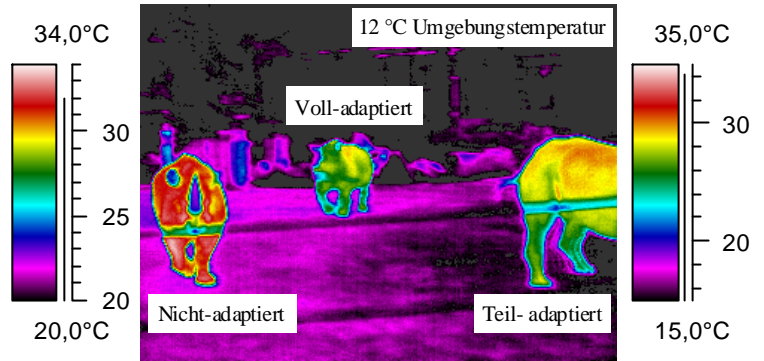


Abb. 18: Tiere nicht / voll / etwas adaptiert an die Umgebungstemperatur

Eine weitere mögliche Fehlerquelle bei der Thermographie ist die aktive Bewegung der Tiere. Abb. 19 und 20 zeigen eine Spitzmaulnashorn-Mutter und ihr 5 Tage altes Kalb. Innerhalb von 40 Minuten heizen sich der Körper der Mutter lokal und der des Kalbes allgemein auf. An den Hinterbeinen der Mutter treten bis zu 4 °C Differenzen innerhalb dieser 40 Minuten auf. Der seitliche Körper der Mutter (Brust / Bauch) ist davon kaum betroffen. Über der Schulter ist eine leichte Zunahme der Wärmeabstrahlung wahrzunehmen. Diese Bewegungswärme kann u.U. eine Diagnostik erschweren.

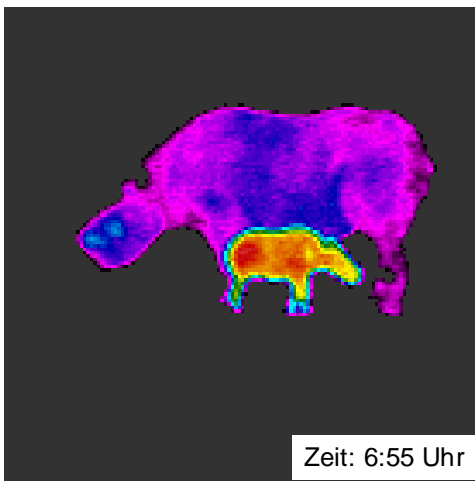


Abb. 19: Tiere vor Beginn der Bewegung

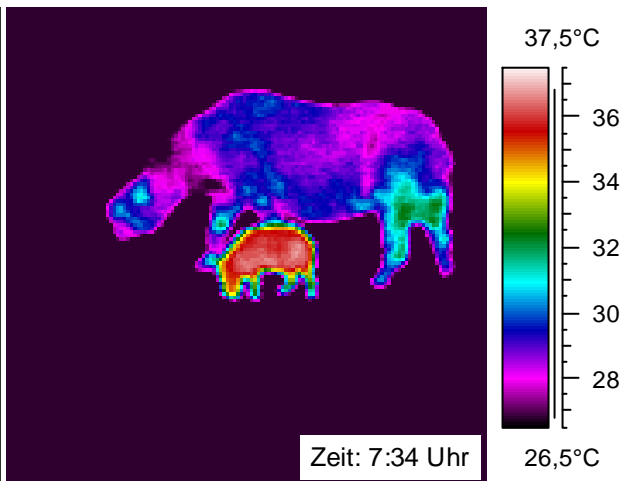


Abb. 20: Tiere nach 40 Minuten intensiven Trabens

Infrarot-Befund:		Zeit:	6:55 Uhr	7:34 Uhr
Umgebungstemperatur:		Mutter:		
Tier-Kamera-Abstand:		Kopf (+ Auge)	29,3 °C	29,3 °C
Altersgruppe:		Auge:	29,8 °C	30,4 °C
		Hals:	28,3 °C	28,6 °C
		Schulter:	28,8 °C	29,3 °C
		Körper (seitlich):	28,9 °C	28,9 °C
		Oberschenkel:	28,4 °C	29,4 °C
		Unterschenkel:	27,7 °C	31,5 °C
		Kalb:		
		Körper:	34,9 °C	36,2 °C

5.0 Untersuchungen zur allgemeinen und pathologischen Thermoregulation bei Zoo- und Wildtieren mittels Infrarot-Thermographie

5.1 Ergebnisse - Fallbeispiele

Die Fallbeispiele sind nach Tiergruppen geordnet. Zunächst werden unauffällig aussehende Tiere vorgestellt, von denen angenommen wird, daß sie arttypisch ihre Körperoberflächen-Temperatur regulieren. Bei einigen Tierarten werden danach Beispiele von Individuen aufgeführt, bei denen angenommen wird, daß sie ihre Temperatur artuntypisch regulieren.

Abb. 21-24: Thermoregulation bei Elefanten

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*



Abb. 21

Ort: Zoo Hodenhagen (außen) Datum: 7.2.1998

Umgebungstemperatur: 2,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 50 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Kopf: 18,9 °C
Rüssel: 19,9 °C
Ohr: 11,8 °C
Körper: 19,7 °C
Beine (distal): 18,0 °C

Abb. 21: Afrikanischer Elefant

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den gesamten Körper. Die Ohren sind warm, aber kühler als der restliche Körper mit Ausnahme des Schwanzes.

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

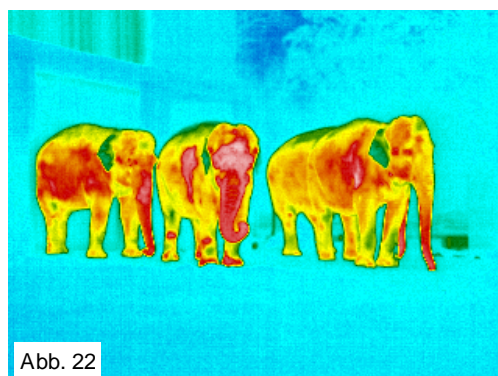


Abb. 22

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 8,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 30 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Kopf: 23,4 °C
Rüssel: 28,4 °C
Ohr: 14,7 °C
Körper: 26,2 °C
Beine (distal): 20,6 °C

Abb. 22: Asiatische Elefanten

Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper groß, vermehrt noch über den Rüssel. Vermessung des vordersten Elefanten. Die hinteren drei Elefanten zeigen ähnliche oder vermehrte Wärmeabstrahlung. Ohren kühler als der Körper. Der mittlere Elefant zeigt vermehrte Wärmeabstrahlung nach Scheuern des Kopfes an einem Baum.

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*

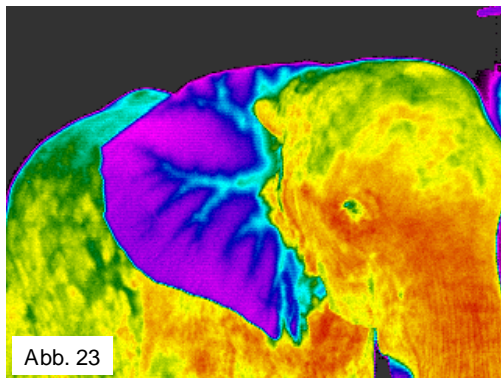


Abb. 23

38,0°C

Ort: Zoo Osnabrück (Stall) Datum: 6.2.1998

Umgebungstemperatur: 18,3 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Kopf (Stirn): 31,6 °C
Kopf (Rüssel): 33,5 °C
Ohr: 22,5 °C
Ohr (Gefäße): 26,1 °C

19,0°C

Abb. 23: Afrikanischer Elefant - Kopf

Ohren sind kühler als Kopf und Körper. Detaillierte Venendarstellung der Ohren.
Vermehrte Wärmeabstrahlung über Rüsselansatz und Vorderbrust in Herzregion.

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

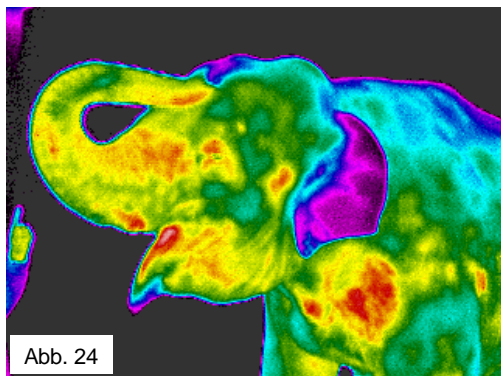


Abb. 24

34,0°C

Ort: Zoo Berlin (Stall) Datum: 19.12.1996

Umgebungstemperatur: 17,7 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4,5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Kopf (Stirn): 27,1 °C
Kopf (Rüssel): 29,8 °C
Ohr: 20,4 °C
Ohr (Gefäße): 21,7 °C

19,0°C

Abb. 24: Asiatischer Elefant - Kopf

Ohren sind kühler als Kopf und Körper. Detaillierte Venendarstellung der Ohren.
Rüsselansatz zeigt vermehrte Wärmeabstrahlung.
Vorderbrust mit Herzregion vermehrt warm gegenüber Rumpf.

Abb. 25-31: Wärmestau bei Asiatischen Elefanten

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

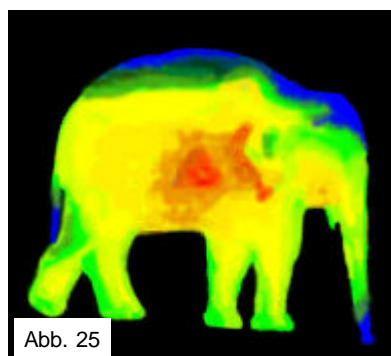


Abb. 25

34,5°C

Ort: Zoo Rotterdam (Stall) Datum: 25.8.1997

Luftfeuchtigkeit: ca 95 %
Umgebungstemperatur: 29,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m
Altersgruppe: Juvenil

Infrarot-Befund:

Kopf (Stirn): 31,9 °C
Kopf (Rüssel): 32,1 °C
Ohr: 33,2 °C
Ohr (Rand): 34,8 °C
Brustregion: 34,6 °C

29,5°C

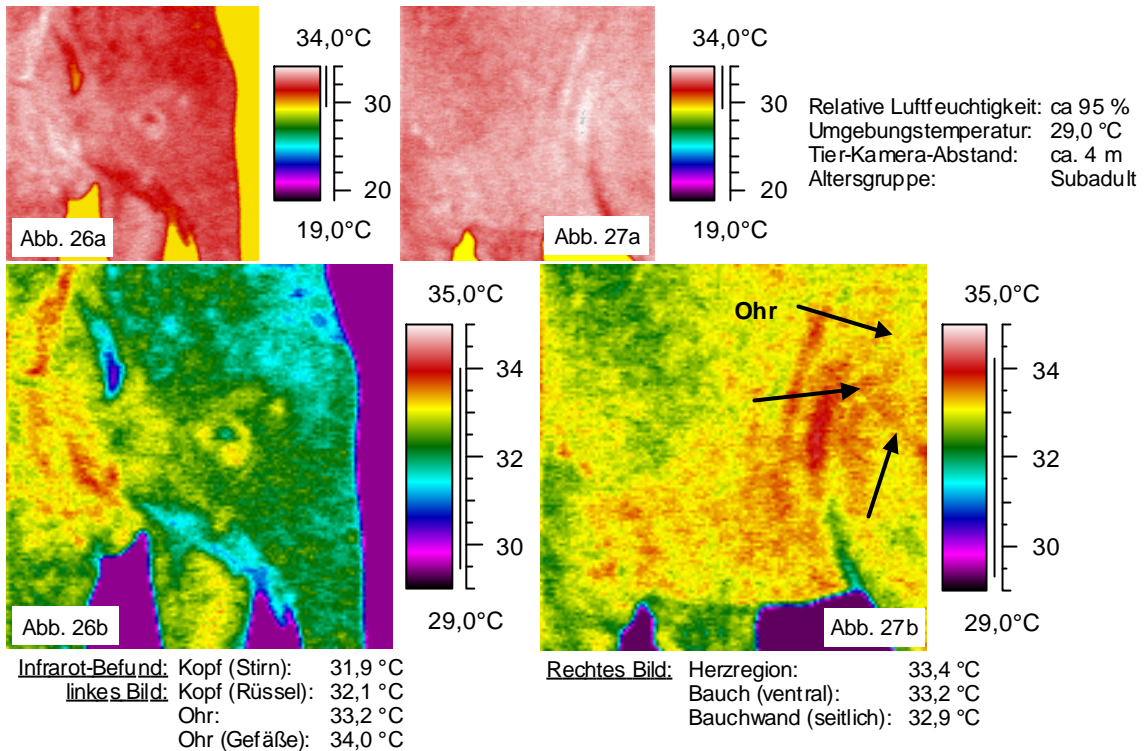
Beschreibung (Abb. 25):

Videoausschnitt eines Asiatischen Elefanten aus dem Zoo Rotterdam.
Gleiches Tier wie auf den beiden folgenden Aufnahmen.
Ohrrand und Herz-Brustregion sind Orte stärkster Wärmeabstrahlung.
Wärmestau auf Grund hoher Luftfeuchtigkeit bei hoher Umgebungstemperatur.
Das Tier versucht, Wärmeabgabe durch Bespritzen mit Wasser zu erzielen (blaue Regionen).

Wärmestau

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

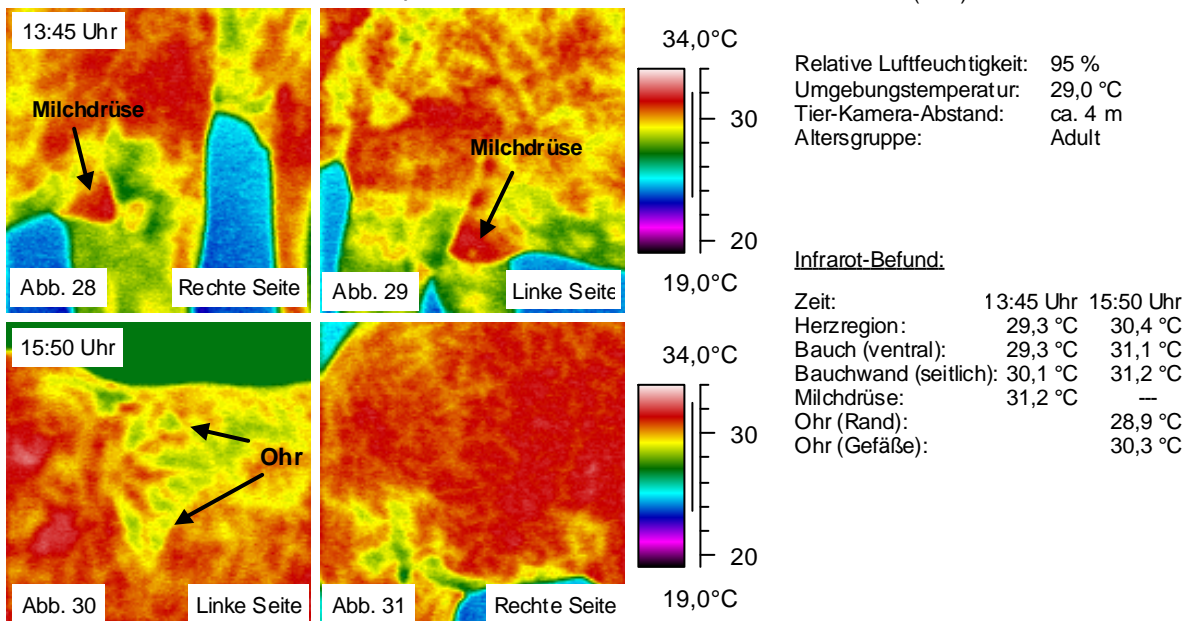
Ort: Zoo Rotterdam (Stall) Datum: 25.8.1997



Beschreibung (Abb. 26-27): Oben (a) und unten (b) gleiche Bilder mit anderer Temperatureinstellung. Obere Bilder: Temperaturskala wie Vergleichstier Abb. 24; untere Bilder: feinere Temperaturskala. Nach zwei Stunden im Tierhaus ohne Schwimmbecken mit nur etwas Trinkwasser: Starke Wärmeabstrahlung über gesamten Körper. Ohren, besonders Ohrgefäße, strahlen stärker als der restliche Körper. Schulter, Herz- und ventrale Bauchregion zeigen starke Abstrahlung. Wärmestau auf Grund der hohen Luftfeuchtigkeit bei hoher Umgebungstemperatur.

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

Ort: Zoo Rotterdam (Stall) Datum: 25.8.1997



Beschreibung (Abb. 28-29): 13:45 Uhr - Laktierende Asiatische Elefantenkuh abgeduscht direkt von Außenanlage in den Stall. Wärmeabstrahlung über gesamten Elefanten hoch, geringer über ventrale Herz- und Bauchregionen sowie über die Beine, am stärksten über Milchdrüsenregion (thorakale Milchdrüse). **Abb. 30-31:** 15:50 Uhr - Nach zwei Stunden im Tierhaus: Elefant zeigt verstärkte Wärmeabstrahlung über gesamten Körper. Rücken noch feucht vom verspritzten Trinkwasser! Ohrrand mit Abstrahlung equivalent zur Umgebungstemperatur. Bei längerem Aufenthalt ohne Wasser: drohender Wärmestau auf Grund der hohen Luftfeuchtigkeit und Temperatur in diesem Tierhaus.

Abb. 32: Thermoregulation bei Sonneneinstrahlung

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*

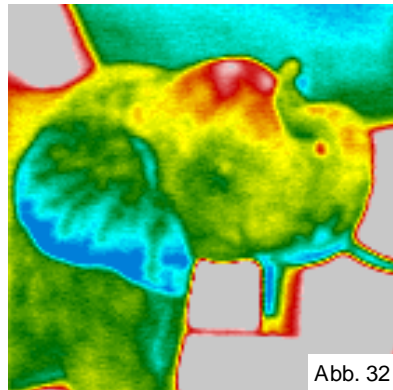


Abb. 32

Ort: Zoo Dvur Králové (außen) Datum: 5.9.1997

Relative Luftfeuchtigkeit: ca. 60 %

Umgebungstemperatur: 28,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Kopf (Stirn): 34,1 °C

Kopf (Rüssel): 31,1 °C

Ohr (proximal): 29,4 °C

Ohr (Rand): 25,5 °C

Herzregion: 30,0 °C

Beschreibung (Abb. 32): Afrikanische Elefantenkuh partiell in der Sonne: Ohren sind die kühlschte sichtbare Hautoberfläche. Umgebungstemperaturen (28,0 °C im Schatten) sind ähnlich wie bei den Elefanten in Rotterdam (Voraufnahmen). Luftfeuchtigkeit in Dvur Kralove jedoch nur ca. 60 %. Trotz der hohen Umgebungstemperatur sind die Ohren bei diesem Tier kühl. Kein Wärmestau.

Abb. 33-36: Auswirkung von Stress auf die Thermoregulation

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*

Ort: Zoo Osnabrück (Stall) Datum: 6.2.1998

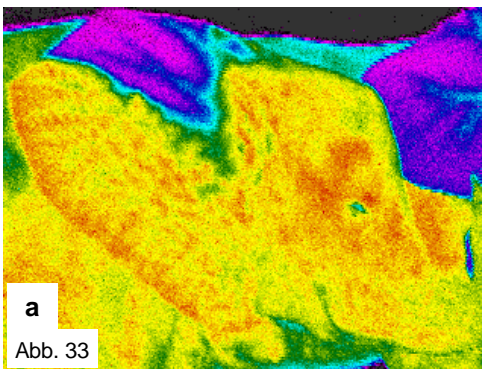


Abb. 33

a) Kopf: Rechte Seite; 2 m. Zeit: 11:13

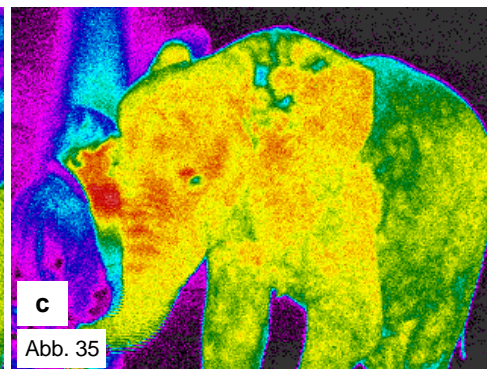


Abb. 35

c) Linke Seite; 3 m. Zeit: 11:18

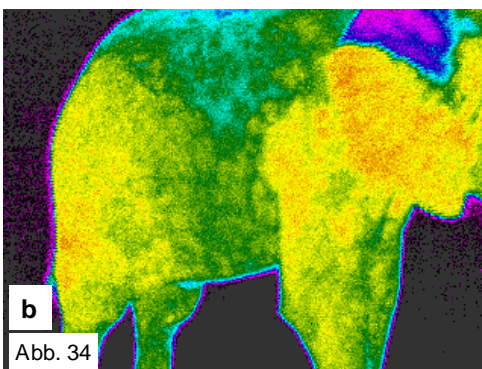


Abb. 34

b) Rechte Seite; 5 m. Zeit: 11:17

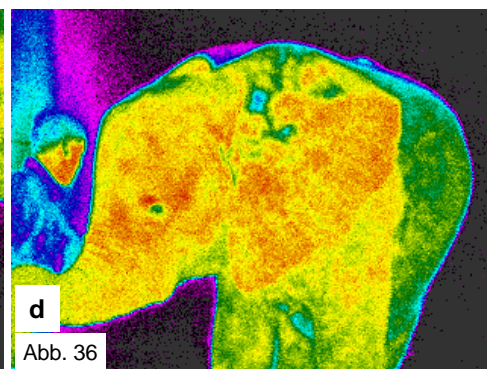


Abb. 36

d) Linke Seite; 3 m. Zeit: 11:19

Infrarot-Befund:

Umgebungstemperatur: 18,3 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 2-5 m

Altersgruppe: Juvenil

Bild: a) Ohr: 32,3 °C

b) Ohr: 32,5 °C

c) Ohr: 32,6 °C

d) Ohr: 32,9 °C

a) Stirn: 32,3 °C

b) ----

c) Stirn: 32,5 °C

d) Stirn: 32,6 °C

a) ----

b) Schulter: 32,0 °C

c) Schulter: 32,0 °C

d) Schulter: 32,0 °C

Beschreibung (Abb. 33-36):

Ungewöhnliche Situation: Tagsüber Anketten des Jungelefanten während der Untersuchung der Leitkuh. Zunehmende Streßreaktion (Trompeten, "Weben", Rüsseln, etc.).

Infrarot-Befund: Zunehmende Wärmeabstrahlung über die Ohren und die Stirn (innerhalb von 6 Minuten).

Bild c): dunkelrote Region neben Kopf des Elefanten sind Hand und Kopf des Tierpflegers.

Bild d): Kopf des Tierpflegers neben dem Elefanten.

Abb. 37-39: Thermoregulation bei Pferden

Tierart: Schwarzwälder Kaltblut *Equus przewalski f. caballus*

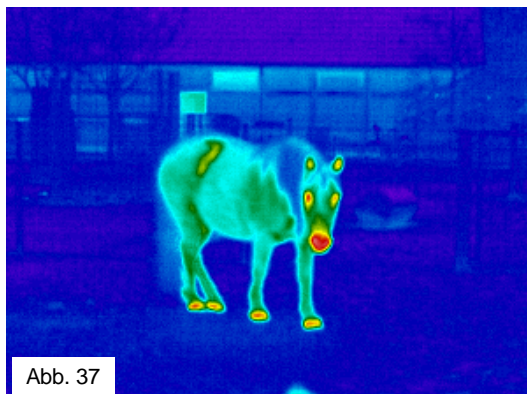
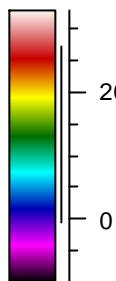


Abb. 37

33,0°C



-10,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 9,0 °C
Maul: 24,2 °C
Beine (distal): 9,7 °C
Hufe (Tmax): 23,1 °C

Abb. 37: Schwarzwälder Kaltblut

Wärmeabstrahlung gering über den Körper, vermehrt über Maul, Augen und Hufe.
Hängemähne als guter Isolator der Halsregion.
Aktivität: Laufen während der Futtersuche und Aufnahme.

Tierart: Haflinger *Equus przewalski f. caballus*

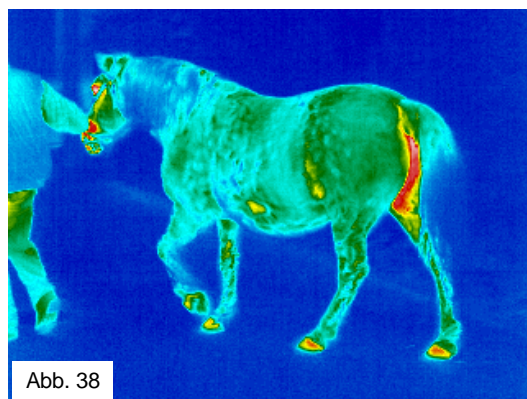
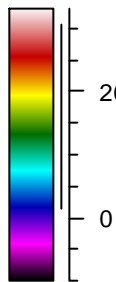


Abb. 38

33,0°C



-10,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 10,0 °C
Maul: 23,9 °C
Beine (distal): 7,4 °C
Hufe (Tmax): 23,9 °C

Abb. 38: Haflinger

Wärmeabstrahlung gering über den Körper, vermehrt über Augen, Schenkelspalt und Hufe.
Hängemähne als Isolator der Halsregion. Distale Hälfte des Schweifs nicht von Umgebung zu unterscheiden. Aktivität: Laufen während der Futtersuche und Aufnahme.

Tierart: Przewalskipferd *Equus przewalski przewalski*

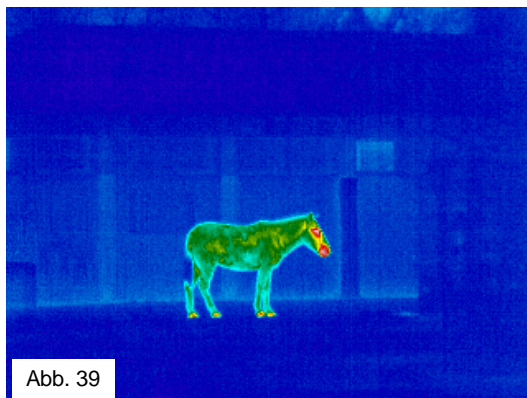
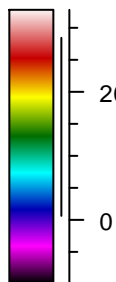


Abb. 39

33,0°C



-10,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 25 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 12,4 °C
Maul: 27,9 °C
Beine (distal): 8,4 °C
Hufe (Tmax): 24,3 °C

Abb. 39: Przewalskipferd

Wärmeabstrahlung gering über den Körper, vermehrt über Maul, Augen und Hufe.
Hals vermehrt warm. Tier mit Stehmähne.
Aktivität: Laufen und Rangordnungstreitigkeiten während der Futteraufnahme.

Abb. 40-42: Thermoregulation bei Zebras

Tierart: Steppenzebra *Equus burchelli*

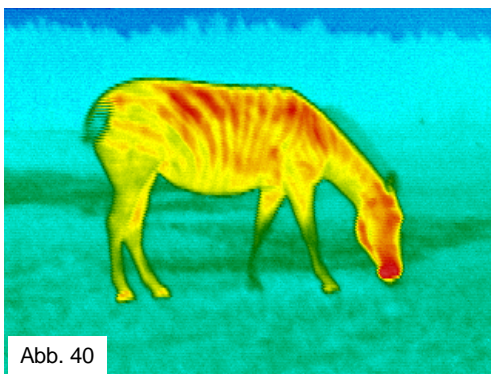
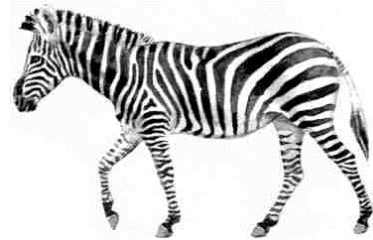


Abb. 40: Steppenzebra

Breite Streifung des Steppenzebras gut sichtbar. Schwarze Streifen strahlen mehr Wärme ab als weiße. Stärkste Wärmeabstrahlung über Kopf, Maul, Schulter, Rücken und Hufe.

Ort: Zoo Hodenhagen (außen) Datum: 3.7.1998

Umgebungstemperatur: 17,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m
Altersgruppe: Adult



Quelle: DANDELLOT (1970)

Infra rot-Befund:

Körper: 26,5 °C
Maul: 29,3 °C
Beine (distal): 20,7 °C
Hufe (Tmax): 25,3 °C

Tierart: Bergzebra *Equus zebra*

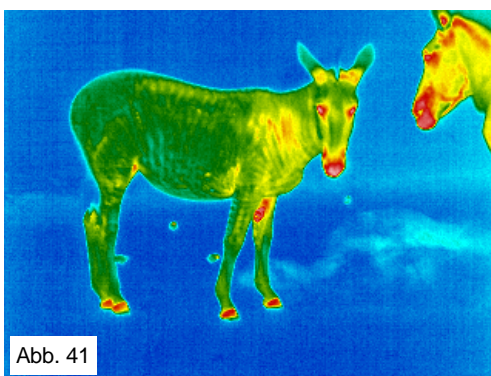
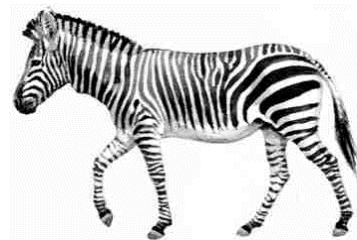


Abb. 41: Bergzebra

Streifung beim Bergzebra enger als beim Steppenzebra. Streifung noch gering sichtbar. Wärmeabstrahlung am höchsten über Maul, Augen und Hufe.

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult



Quelle: DANDELLOT (1970)

Infra rot-Befund:

Körper: 13,5 °C
Maul: 24,9 °C
Beine (distal): 13,5 °C
Hufe (Tmax): 26,4 °C

Tierart: Grevy Zebra *Equus grevyi*

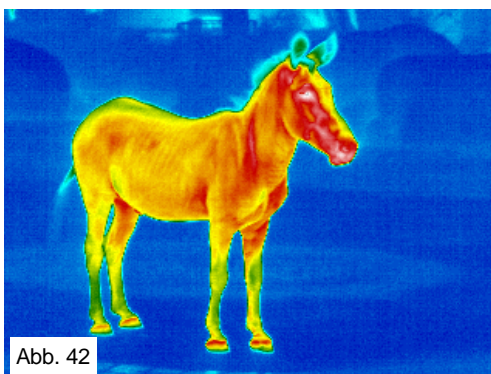
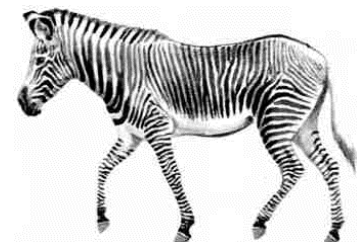


Abb. 42: Grevy-Zebra

Feine Streifung kaum sichtbar. Stärkste Wärmeabstrahlung über Maul, Auge, Kopf, Innenschenkel und Hufe. Beachte: Die unterschiedlichen Wärmeabstrahlungen bei Berg- und Grevy-Zebras erfolgen bei gleichen Umgebungstemperaturen.

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult



Quelle: DANDELLOT (1970)

Infra rot-Befund:

Körper: 21,3 °C
Maul: 27,2 °C
Beine (distal): 16,2 °C
Hufe (Tmax): 25,0 °C

Abb. 43-46: Thermoregulation bei Tapiren und Nashörnern

Tierart: Flachlandtapir *Tapirus terrestris*

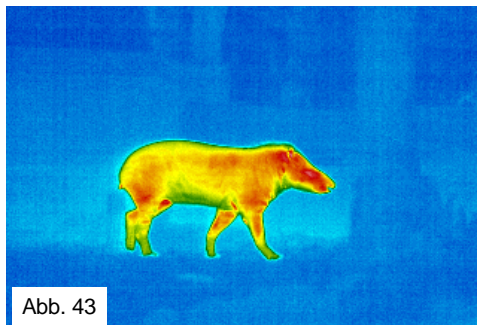
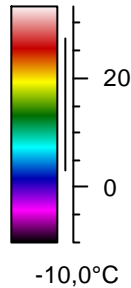


Abb. 43

33,0°C



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 4,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 15 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 19,6 °C
Kopf: 23,7 °C
Maul: 21,2 °C
Beine (distal): 14,2 °C

Abb. 43: Flachlandtapir Starke Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper. Kopf als wärmste Region. Unterbauch kühler als seitlicher Bauch. Aktivität: kontinuierliches Laufen ohne Futtersuche.

Tierart: Breitmaulnashorn *Ceratotherium simum*

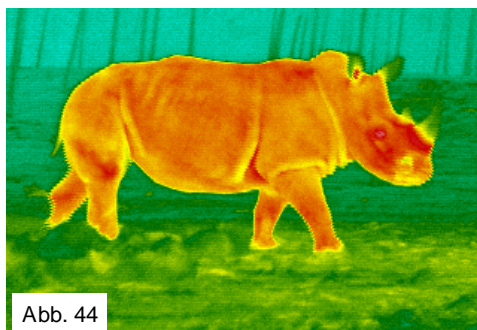
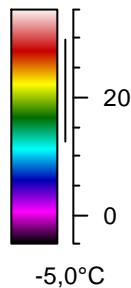


Abb. 44

35,0°C



Ort: Zoo Hohenheim (außen) Datum: 3.7.1998

Umgebungstemperatur: 17,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 7 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 25,4 °C
Kopf: 26,6 °C
Maul: 24,4 °C
Beine (distal): 24,8 °C

Abb. 44: Breitmaulnashorn Tier im Sommer auf der Außenanlage. Kopf mit vermehrter, sonst an der Oberfläche gleichmäßige Wärmeabstrahlung. Ohren am Rand mit verminderter Wärmeabstrahlung.

Tierart: Spitzmaulnashorn *Diceros bicornis*

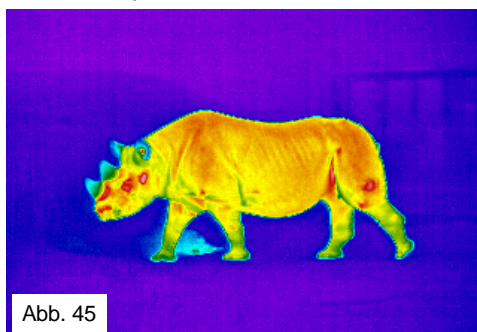
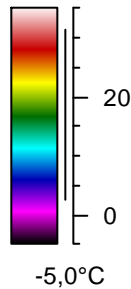


Abb. 45

35,0°C



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 4,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 23,8 °C
Kopf: 24,1 °C
Maul: 23,1 °C
Beine (distal): 20,2 °C

Abb. 45: Spitzmaulnashorn Wärmeabstrahlung über Körper und Kopf gleichmäßig stark, vermindert über Beine, Ohren und Hörner, verstärkt über Augen, Hornbasis, Oberlippe und lokale Stellen am Körper.

Tierart: Panzernashorn *Rhinoceros unicornis*

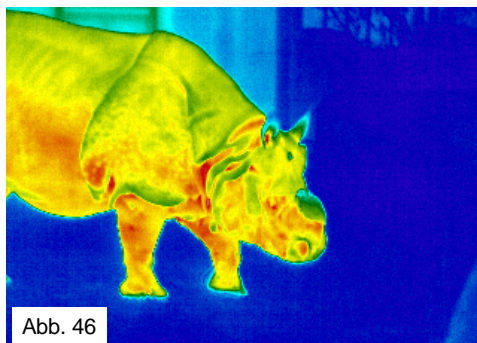
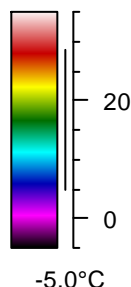


Abb. 46

35,0°C



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 6,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m
Altersgruppe: Adult

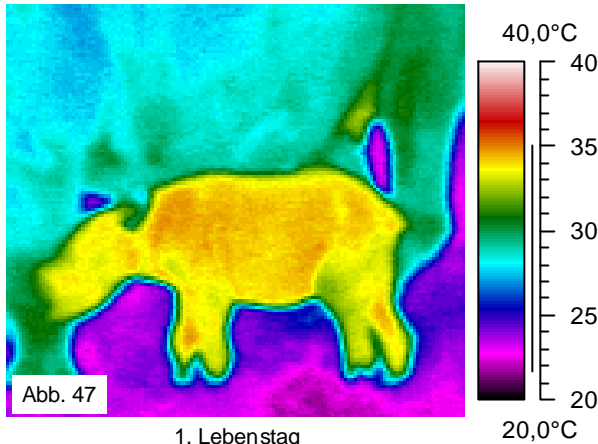
Infrarot-Befund:

Körper: 22,6 °C
Kopf: 22,3 °C
Maul: 23,0 °C
Beine (distal): 23,4 °C

Abb. 46: Panzernashorn Wärmeabstrahlung vermehrt über ventrale Körperregionen sowie über ventralen Hals, Unterkieferregion und Hornbasis, vermindert über Hautfalten des Kopfes und des Halses und über die ausgeprägten Hautschilde. Horn abgewetzt.

Abb. 47-50: Thermoregulation bei neugeborenen und juvenilen Nashörnern

Tierart: Spitzmaulnashorn *Diceros bicornis*



Auf allen Aufnahmen gleich:

Umgebungstemperatur: 20 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m
Altersgruppe: Juveniles (+ Adult)

Ort: Zoo Berlin (Stall) Datum: 8.8.1997

Infrarot-Befund:

Individuum:	Kalb	Mutter
Körper:	34,3 °C	28,1 °C
Kopf:	33,7 °C	---
Beine (distal):	33,1 °C	29,8 °C

Abb. 47: Kalb - 1. Lebenstag

Wenige Stunden nach der Geburt. Kalb hat ca. 6 °C stärkere Wärmeabstrahlung als die Mutter.

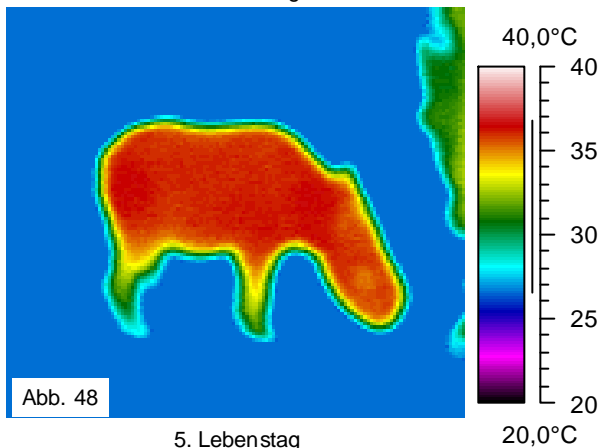
Ort: Zoo Berlin (Stall) Datum: 12.8.1997

Infrarot-Befund:

Individuum:	Kalb	Mutter
Körper:	36,2 °C	31,1 °C
Kopf:	35,7 °C	---
Beine (distal):	31,7 °C	---

Abb. 48: Kalb - 5. Lebenstag

Wenige Tage nach der Geburt. Kalb hat 4 °C stärkere Wärmeabstrahlung als Mutter und am 5. Lebenstag ca. 2 °C stärkere als am 1. Lebenstag. Mutter im Puerperium.



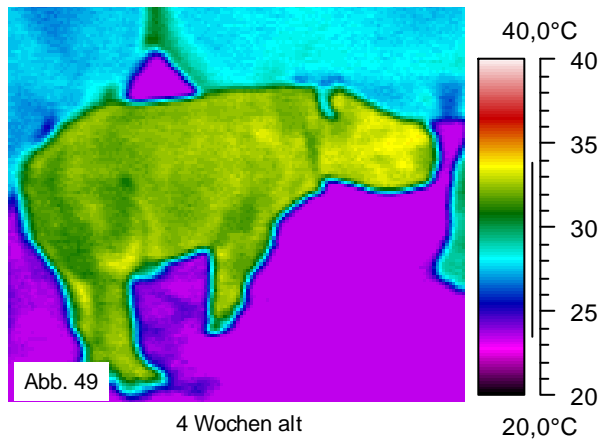
Ort: Zoo Berlin (Stall) Datum: 3.9.1997

Infrarot-Befund:

Individuum:	Kalb	Mutter
Körper:	32,3 °C	27,0 °C
Kopf:	33,2 °C	---
Beine (distal):	32,1 °C	29,2 °C

Abb. 49: Kalb - 4. Lebenswoche

4 Wochen nach der Geburt: Kalb ca. 4 °C stärkere Wärmeabstrahlung als Mutter, 4 °C weniger als am 5. Lebenstag und 2 °C weniger als am 1. Lebenstag



Ort: Zoo Berlin (Stall) Datum : 24.10.1997

Infrarot-Befund:

Individuum:	Kalb	Mutter
Körper:	29,7 °C	26,7 °C
Kopf:	29,8 °C	---
Beine (distal):	30,1 °C	26,1 °C

Abb. 50: Kalb - 10. Lebenswoche

10 Wochen nach der Geburt: Kalb ca. 3 °C stärkere Wärmeabstrahlung als Mutter, ca. 2,5 °C weniger als mit 4 Wochen, 6,5 °C weniger als am 5. Lebenstag und 3,6 °C weniger als am 1. Lebenstag

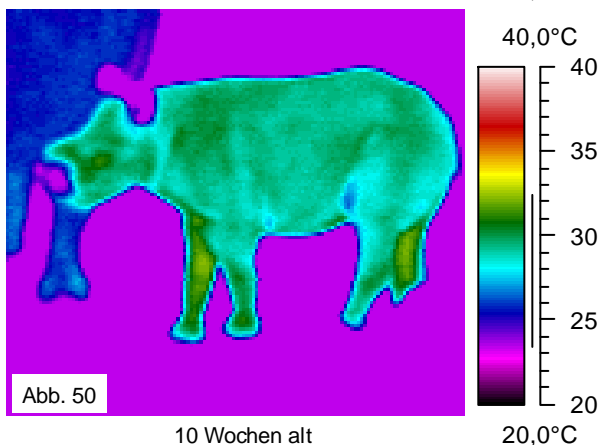
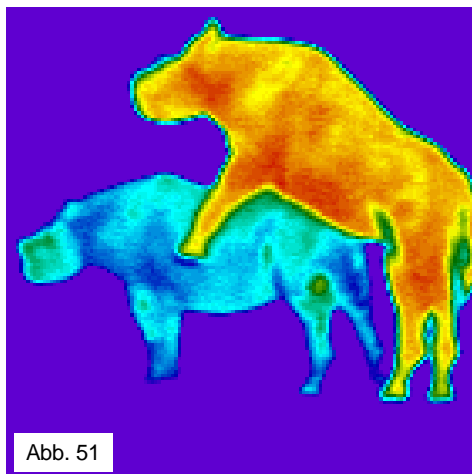


Abb. 51-53: Thermoregulation in der Paarungszeit

Tierart: Spitzmaulnashorn *Diceros bicornis*

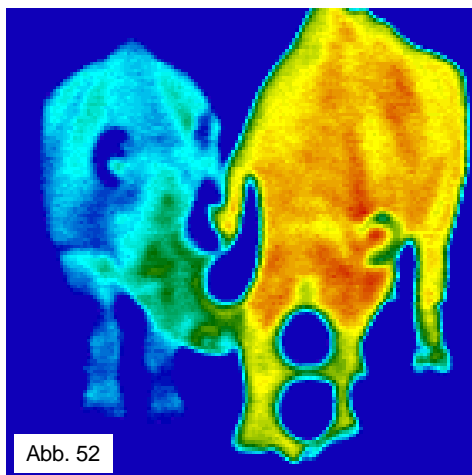


Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 7 m
Altersgruppe: Adult
Zeit: 8:27

Infrarot-Befund:

Geschlecht:	Weiblich	Männlich
Körper:	26,4 °C	32,6 °C
Kopf:	27,3 °C	32,5 °C
Maul:	28,1 °C	31,8 °C
Beine (distal):	25,5 °C	31,1 °C



Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult
Zeit: 8:40

Infrarot-Befund:

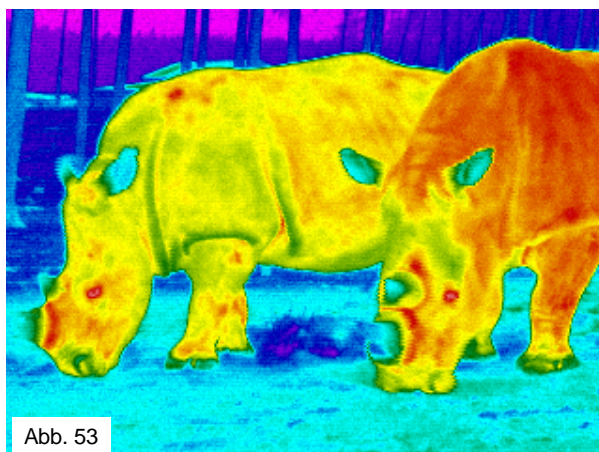
Geschlecht:	Weiblich	Männlich
Körper:	26,7 °C	32,4 °C
Kopf:	27,6 °C	32,6 °C
Maul:	29,1 °C	30,9 °C
Beine (distal):	25,5 °C	28,5 °C

Abb. 51-52: Paarung bei Spitzmaulnashörnern

Männliches Spitzmaulnashorn während der Paarung durchschnittlich 6 °C stärkere Wärmeabstrahlung als weibliches. Vermehrte Wärmeabstrahlung über Bauch des Bullen und Kopf der Kuh.
Nach der Paarung: Stärkste Wärmeabstrahlung über Maul der Kuh und Stirn des Bullen.

Tierart: Breitmaulnashorn *Ceratotherium simum*

Ort: Zoo Hohenhausen (außen) Datum: 3.7.1998



Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Geschlecht:	Weiblich	Männlich
Schulter:	25,6 °C	28,7 °C
Kopf:	25,8 °C	25,6 °C
Maul:	26,0 °C	26,4 °C
Beine (distal):	26,1 °C	26,7 °C

Abb. 53: Paarungsgemeinschaft bei Breitmaulnashörnern

Paarungsgemeinschaft: Bulle (rechts) 28,7 °C; Kuh (links) 25,6 °C.
Bulle mit ca. 3,1 °C stärkerer Wärmeabstrahlung über die Schulter als Kuh.

Abb. 54-56: Thermoregulation bei Rindern

Tierart: Prärie-Bison *Bison bison bison*

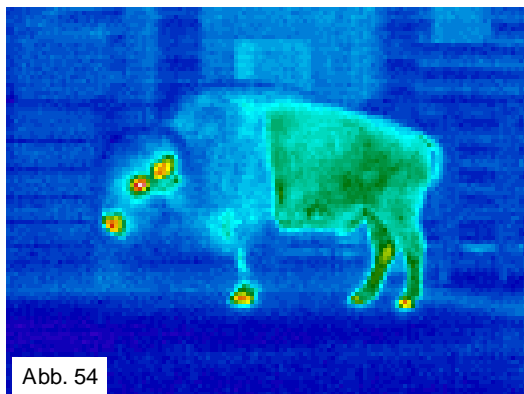
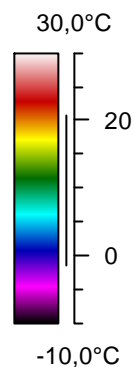


Abb. 54



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 8 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper (kranial): 4,1 °C
Körper (kaudal): 8,9 °C
Kopf: 3,5 °C
Augen (maximal): 29,5 °C
Hörner (maximal): 19,9 °C
Maul: 11,7 °C
Vorderbeine (distal): 4,6 °C
Hinterbeine (distal): 10,9 °C
Klauen (lateral): 20,6 °C

Abb. 54: Prärie-Bison

Wärmeabstrahlung vermehrt über Augen, Hörner, Maul und Klauen, vermindert über Kopf und Vorderkörper. Starke Behaarung des Vorderkörpers (Mähne) reduziert die Wärmeabstrahlung.

Tierart: Wisent *Bison bonasus*

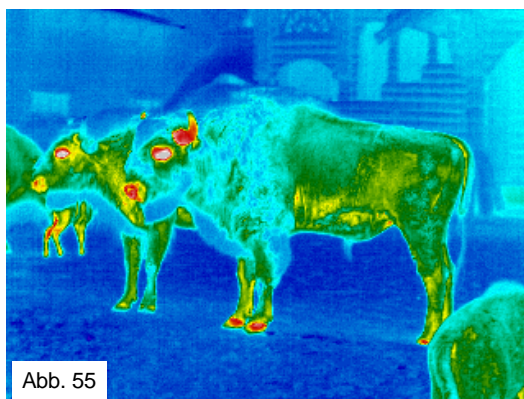
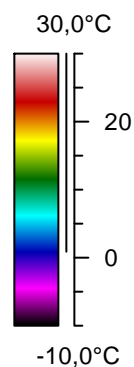


Abb. 55



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 7 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper (kranial): 6,9 °C
Körper (kaudal): 11,7 °C
Kopf: 4,3 °C
Augen (maximal): 35,3 °C
Hörner (maximal): 28,5 °C
Maul: 18,5 °C
Vorderbeine (distal): 13,4 °C
Hinterbeine (distal): 16,2 °C
Klauen (lateral): 23,5 °C

Abb. 55: Wisente

Wärmeabstrahlung vermehrt über Augen, Hörner, Maul und Klauen, vermindert über Kopf und Vorderkörper. Starke Behaarung des Vorderkörpers des Bullen reduziert die Wärmeabstrahlung. Beim Wisent höhere Hautoberflächen-Temperaturen als beim Prärie-Bison.

Tierart: Kaffernbüffel *Syncerus caffer*

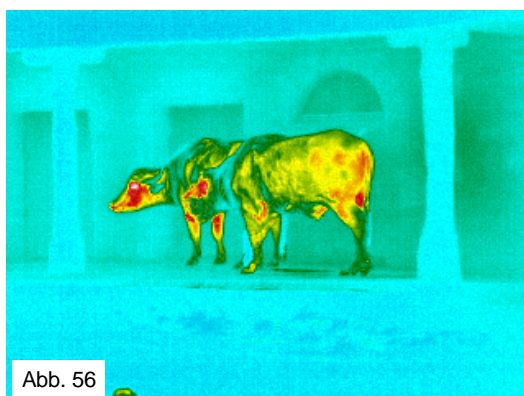
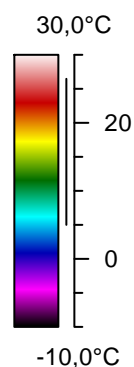


Abb. 56



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 6,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 16,0 °C
Hals: 8,5 °C
Kopf: 20,6 °C
Augen (maximal): 30,3 °C
Hörner (maximal): 10,0 °C
Maul: 16,9 °C
Vorderbeine (distal): 12,4 °C
Hinterbeine (distal): 10,6 °C
Klauen (lateral): 11,6 °C

Abb. 56: Kaffernbüffel

Wärmeabstrahlung vermehrt über Kopf, Augen, Maul und Hinterschenkel, vermindert über Hals und Hörner. Bulle mit ähnlichen Hautoberflächen-Temperaturen wie Kuh. Kaffernbüffel zeigt stärkere Abstrahlung als Wisent und Bison, besonders an Kopf und Vorderkörper.

Abb. 57-60: Thermoregulation bei Antilopen

Tierart: Elenantilope *Tragelaphus oryx*

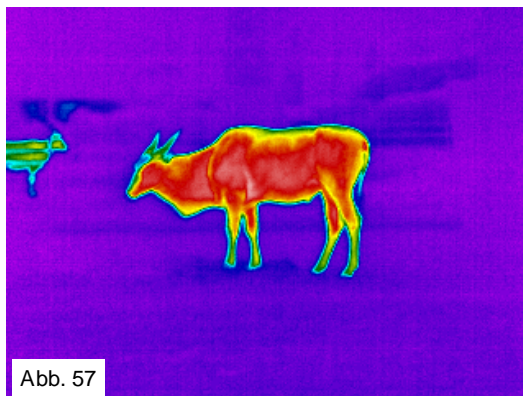
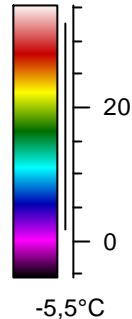


Abb. 57

35,5°C



-5,5°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 29,9 °C
Kopf (mit Augen): 29,3 °C
Maul: 24,0 °C
Hörner (Mittelmaß): 15,4 °C
Beine (distal): 17,5 °C

Abb. 57: Elenantilope

Wärmeabstrahlung über den ganzen Körper gleichmäßig stark, vermindert über Nasenrücken, Ohren, Hörner, Schwanz und distale Beinregionen.

Tierart: Säbelantilope *Oryx dammah*

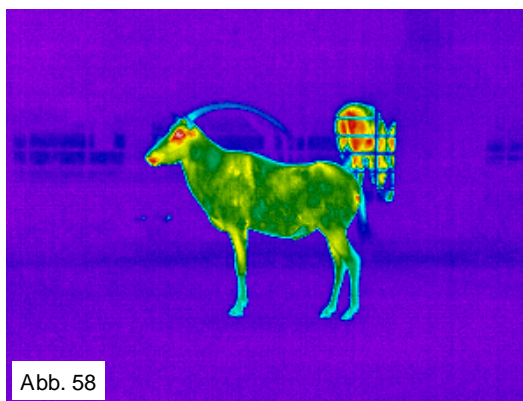
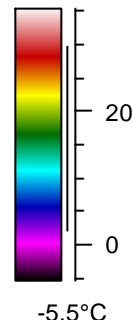


Abb. 58

35,5°C



-5,5°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 17,9 °C
Kopf (mit Augen): 23,3 °C
Maul: 22,1 °C
Hörner (Mittelmaß): 7,5 °C
Beine (distal): 12,2 °C

Abb. 58: Säbelantilope

Wärmeabstrahlung über den Körper gleichmäßig, vermehrt über Augen, Ohren und Lippen, vermindert über Nasenrücken, Hörner, Schwanz und distale Beinregionen. Im Durchschnitt 12°C schwächere Wärmeabstrahlung als bei Elenantilope.

Tierart: Südafrikanische Oryxantilope *Oryx gazella gazella*

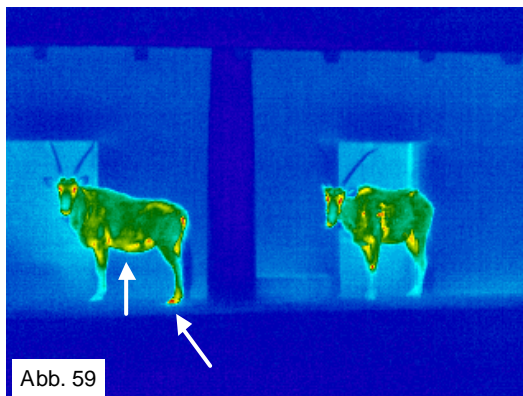
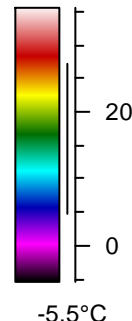


Abb. 59

35,5°C



-5,5°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 16,0 °C
Kopf (mit Augen): 18,9 °C
Maul: 14,4 °C
Hörner (Mittelmaß): 6,9 °C
Beine (distal): 10,4 °C

Abb. 59: Südafrikanische Oryxantilopen

Wärmeabstrahlung über den Körper gleichmäßig, vermehrt über Augen und Lippen, vermindert über Ohren, Nasenrücken, Hörner, Schwanz und distale Beinregionen. Im Durchschnitt 14 °C schwächere Wärmeabstrahlung als bei Elenantilope. Linkes Tier trächtig. Vermehrte Abstrahlung über die linke Hinterklaue (pathologischer Befund ?).

Tierart: Defassa-Wasserbock *Kobus ellipsiprymnus defassa*

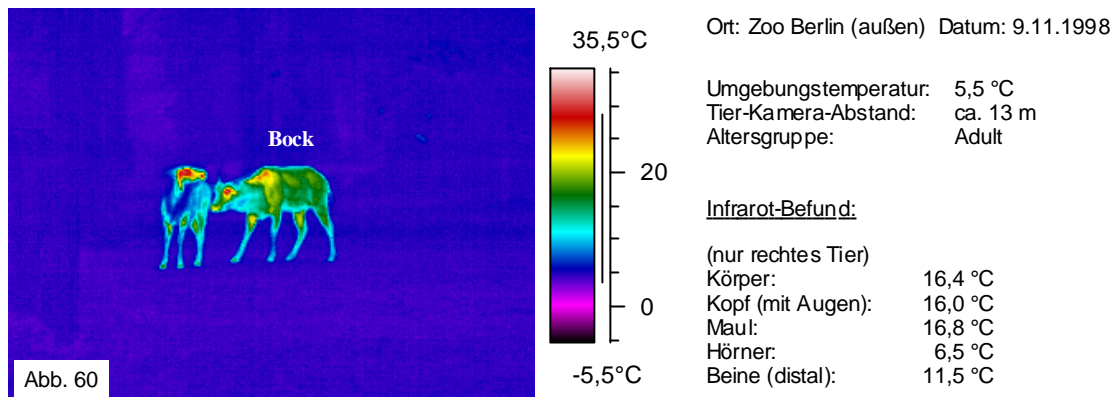


Abb. 60: Defassa-Wasserböcke

Wärmeabstrahlung vermehrt über Schulter, Augen und Nase, vermindert über Nasenrücken, Hals, Bauch und distale Beinregionen. Schulter vermehrt warm (dieser Bock verfolgt ein brünstiges Weibchen während der Werbung). Wärmeabstrahlung ähnlich wie bei der Oryxantilope.

Abb. 61-62: Thermoregulation bei Giraffen

Tierart: Okapi *Okapia johnstoni*

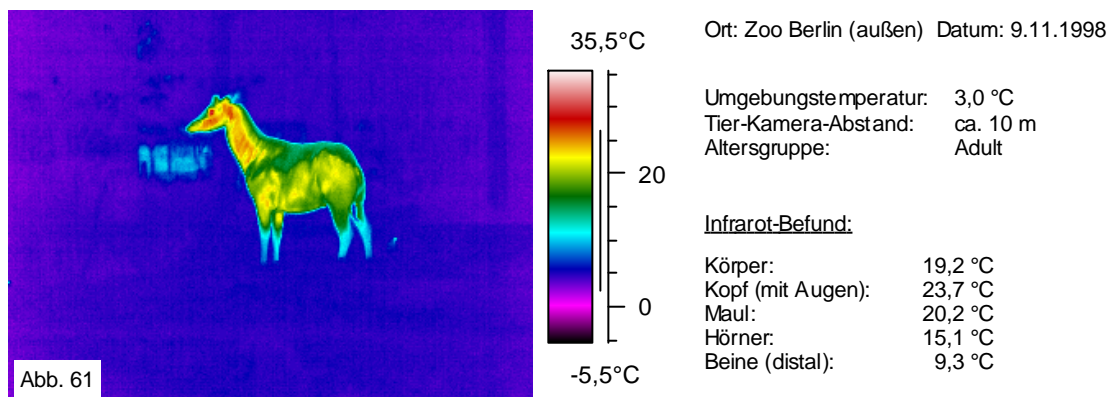


Abb. 61: Okapi

Wärmeabstrahlung vermehrt über Kopf, Augen und Hals, vermindert über Ohren, Hörner und distale Beinregionen.

Tierart: Netzgiraffe *Giraffa camelopardalis reticulata*

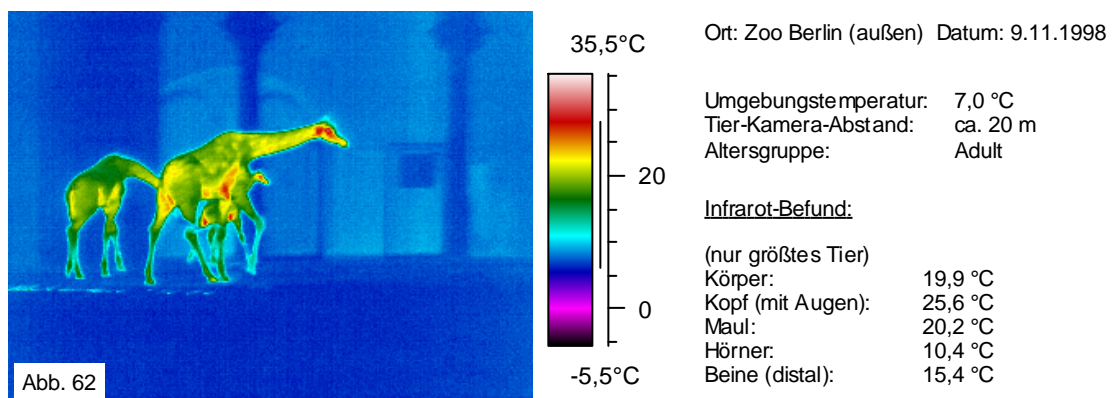


Abb. 62: Giraffen

Wärmeabstrahlung vermehrt über Kopf, Augen, Herzregion, Bauch (trächtig) und Innenschenkel, vermindert über Nasenrücken, Hörner, Ohren und distale Beinregionen.

Abb. 63-67: Thermoregulation bei Kamelen

Tierart: Trampeltier *Camelus ferus*

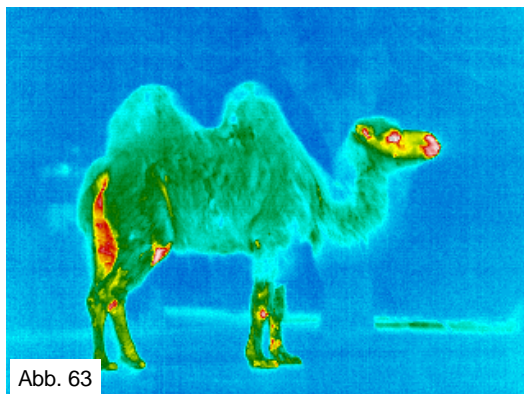
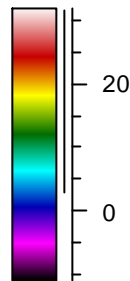


Abb. 63

32,0°C



-11,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 4,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 9,6 °C

Hals: 8,9 °C

Kopf (Stim): 9,2 °C

Maul: 25,4 °C

Augen (maximal): 34,2 °C

Ohren (maximal): 30,9 °C

Beine (distal): 13,5 °C

Füße: 12,4 °C

Abb. 63: Trampeltier

Wärmeabstrahlung über den Körper gleichmäßig gering; vermehrt über Kopf, Augen, Ohren, Maul, Zwischenschenkel und Liegeschwielen. Über die Beine mäßige Abstrahlung. Behaarung des Körpers dicht und lang.

Tierart: Dromedar *Camelus dromedarius*

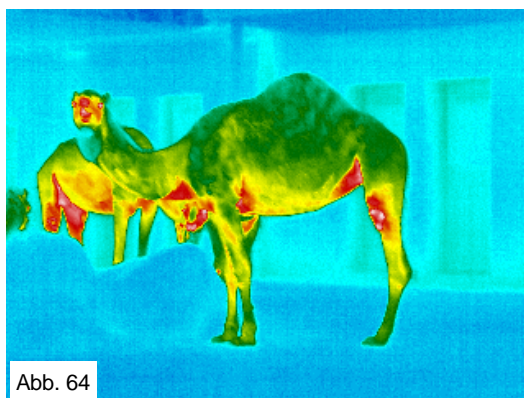
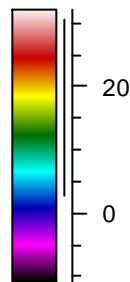


Abb. 64

32,0°C



-11,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 4,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 13,3 °C

Hals: 14,7 °C

Kopf (Stim): 11,8 °C

Maul: 24,5 °C

Augen (maximal): 30,5 °C

Ohren (maximal): 12,3 °C

Beine (distal): 14,3 °C

Füße: 12,2 °C

Abb. 64: Dromedare

Wärmeabstrahlung über den Körper stärker als bei anderen Kamelarten; vermehrt über Kopf, Augen, Maul, Herzregion, ventralen Hals, ventralen und kaudalen Bauchbereich sowie über Liegeschwielen. Behaarung des Körpers außer am Kopf-Hals-Übergang kurz.

Tierart: Vikunja *Lama vicugna*

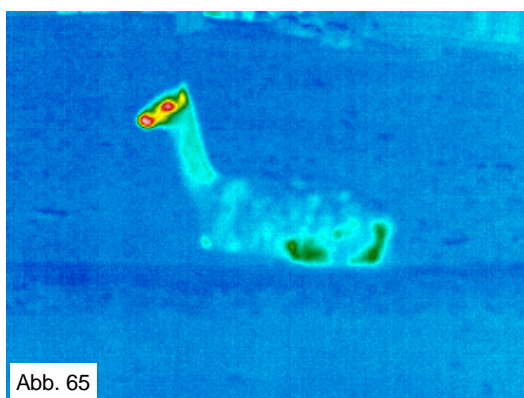
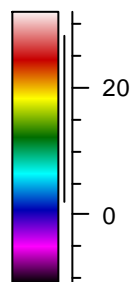


Abb. 65

32,0°C



-11,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 4,7 °C

Hals: 7,3 °C

Kopf (Stim): 6,9 °C

Maul: 19,5 °C

Augen (maximal): 29,0 °C

Ohren (maximal): 18,4 °C

Beine (distal): ---

Füße: ---

Abb. 65: Vikunja

Geringe Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper, vermehrt über Augen, Ohren, und Maul; mittlere Werte im Schenkelinnenbereich und über eingefaltetes Hinterbein. Behaarung des Körpers dicht und lang.

Tierart: Guanako *Lama guanicoe*

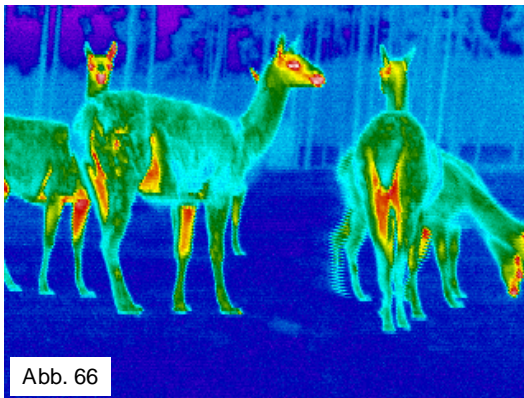


Abb. 66

Abb. 66: Guanakos

Geringe Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper, vermehrt über Augen, Ohren, Maul und Schenkelinnenbereich. Behaarung des Körpers dicht und lang mit Ausnahme der proximalen, medialen Hautregionen der Beine und der kaudalen Bauchregion.

Ort: Zoo Hodenhagen (außen) Datum: 7.2.1998

Umgebungstemperatur: 1,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 8,2 °C
Hals: 10,1 °C
Kopf (Stim): 16,0 °C
Maul: 25,0 °C
Augen (maximal): 31,8 °C
Ohren (maximal): 28,3 °C
Beine (distal): 10,3 °C
Füße: 8,3 °C

Tierart: Lama *Lama guanicoe glama*

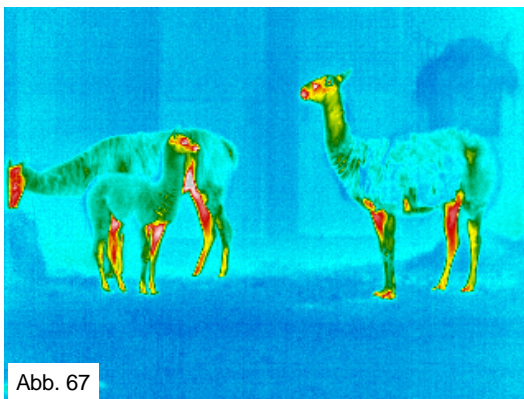


Abb. 67

Abb. 67: Lamas

Geringe Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper, vermehrt über Augen, Ohren, Maul und Schenkelinnenbereich, ähnlich wie bei Guanako. Behaarung des Körpers dicht und lang mit Ausnahme der proximalen, medialen Hautregionen der Beine und der kaudalen Bauchregion.

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 7,5 °C
Hals: 11,3 °C
Kopf (Stim): 13,2 °C
Maul: 25,0 °C
Augen (maximal): 32,9 °C
Ohren (maximal): 26,7 °C
Beine (distal): 13,2 °C
Füße: 18,6 °C

Abb. 68-77: Thermoregulation bei Hirschen

Tierart: Chinesischer Muntjak *Muntiacus muntjak reevesi*

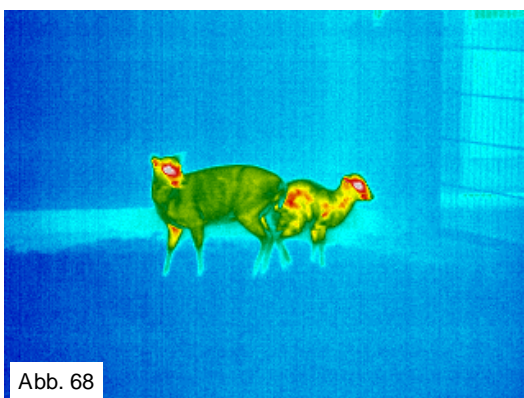


Abb. 68

Abb. 68: Chinesische Muntjaks

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul und Schenkelinnenregionen, vermindert über Ohren und distale Beinregionen.

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

(nur linkes Tier)
Körper: 13,2 °C
Kopf (mit Augen): 20,6 °C
Ohren: 6,7 °C
Maul: 17,5 °C
Geweih: ---
Beine (distal): 6,5 °C

Tierart: Damhirsch *Dama dama*

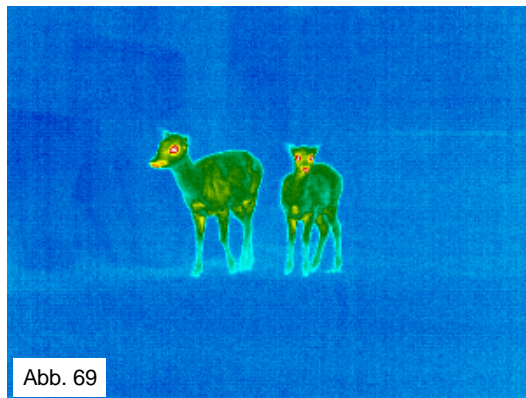
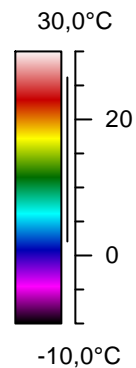


Abb. 69



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 9 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 12,0 °C
Kopf (mit Augen): 13,4 °C
Ohren: 3,5 °C
Maul: 19,0 °C
Geweih: ---
Beine (distal): 7,3 °C

Abb. 69: Damhirsche

Wärmeabstrahlung gleichmäßig gering über den ganzen Körper, vermehrt über Augen und Maul, vermindert über Ohren und distale Beinregionen.

Tierart: Davidshirsch *Elaphurus davidianus*

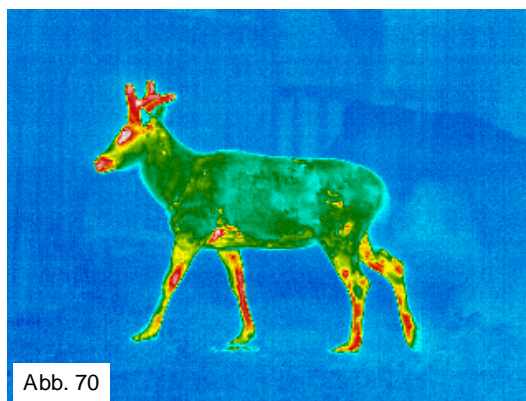
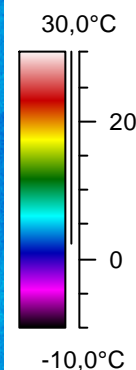


Abb. 70



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 10,5 °C
Kopf (mit Augen): 16,9 °C
Ohren: 7,6 °C
Maul: 20,8 °C
Geweih: 21,3 °C
Beine (distal): 18,2 °C

Abb. 70: Davidshirsch

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul, Geweih, Herzregion, Hals, Schenkelinnenregionen und Beine, vermindert über Ohren.

Tierart: Prinz-Alfred-Hirsch *Cervus mariannus alfredi*

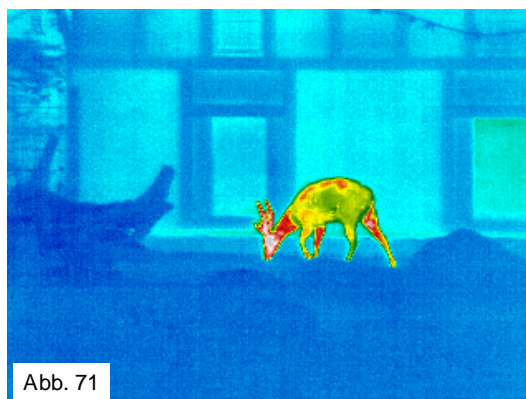
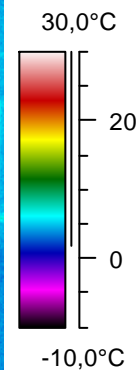


Abb. 71



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 15,7 °C
Kopf (mit Augen): 27,7 °C
Ohren: 13,4 °C
Maul: 25,4 °C
Geweih: 23,9 °C
Beine (distal): 14,6 °C

Abb. 71: Prinz-Alfred-Hirsch

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul, Geweih, Hals, Rücken, Schenkelinnenregionen und mediale Beinregionen, vermindert über Ohren.

Tierart: Sambar Hirsch *Cervus unicolor*

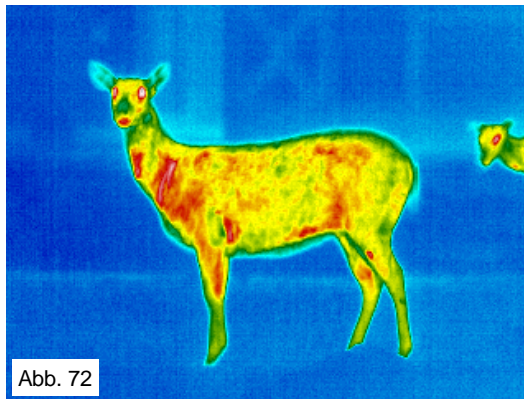
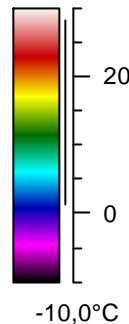


Abb. 72

30,0°C



-10,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 17,7 °C
Kopf (mit Augen): 17,2 °C
Ohren: 7,3 °C
Maul: 20,0 °C
Geweih: ---
Beine (distal): 14,3 °C

Abb. 72: Sambar Hirsch

Wärmeabstrahlung gleichmäßig stark über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul, Hals, Herzregion, ventralen Bauch und Schenkelinnenregionen, vermindert über Ohren und distale Beinregionen.

Tierart: Barasinghahirsch *Cervus duvauceli*

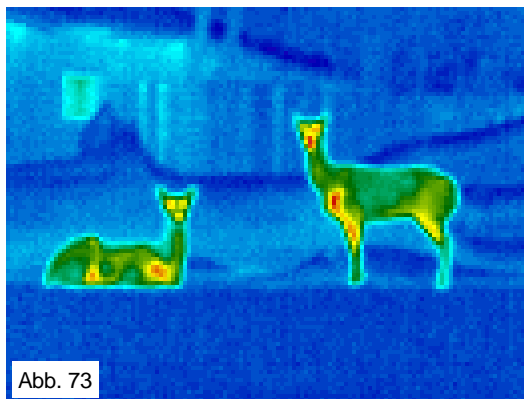
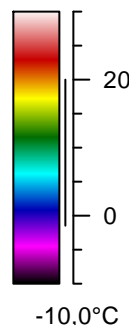


Abb. 73

30,0°C



-10,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 12 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 11,5 °C
Kopf (mit Augen): 16,3 °C
Ohren: 7,2 °C
Maul: 20,6 °C
Geweih: ---
Beine (distal): 8,4 °C

Abb. 73: Barasinghahirsche

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul, Vorderbrust und Schulter, vermindert über Ohren und distale Beinregionen.

Tierart: Sikahirsch *Cervus nippon*

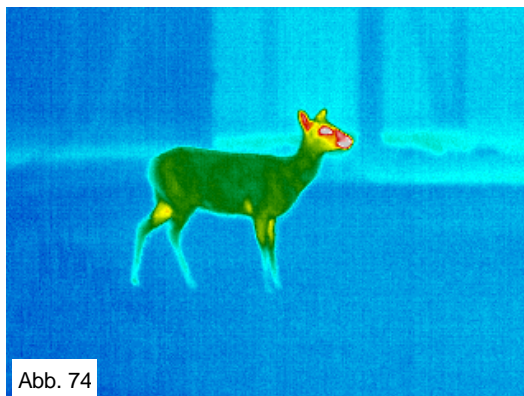
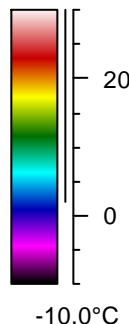


Abb. 74

30,0°C



-10,0°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

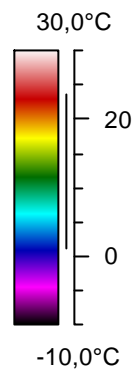
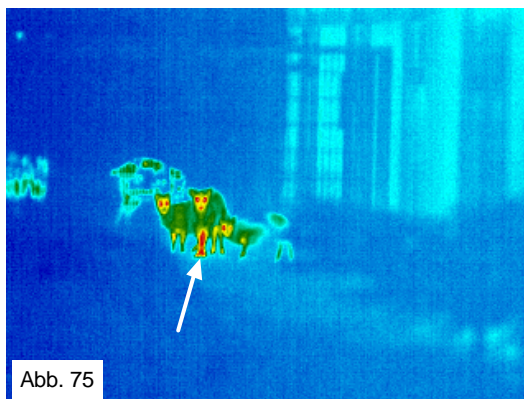
Infrarot-Befund:

Körper: 11,2 °C
Kopf (mit Augen): 18,8 °C
Ohren: 17,5 °C
Maul: 27,5 °C
Geweih: ---
Beine (distal): 5,5 °C

Abb. 74: Sikahirsch

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul und Ohren, vermindert über distale Beinregionen.

Tierart: Pudu *Pudu pudu*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

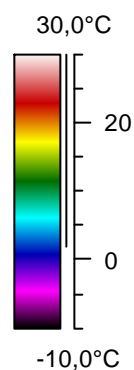
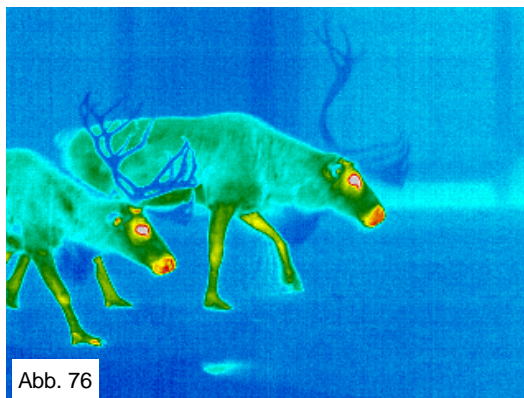
Infrarot-Befund:

Körper: 11,5 °C
Kopf (mit Augen): 17,2 °C
Ohren: 12,1 °C
Maul: 16,2 °C
Geweih: ---
Beine (distal): 13,3 °C

Abb. 75: Pudus

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen und Kopf, vermindert über Ohren und distale Beinregionen. Maul bei mittlerem Tier wärmer als bei den anderen Tieren. Mittleres Tier mit hoher (22,8 °C) Wärmeabstrahlung über das rechte Vorderbein (pathologisch?).

Tierart: Ren *Rangifer tarandus*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

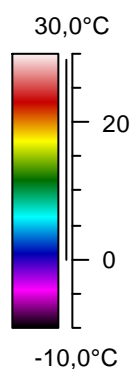
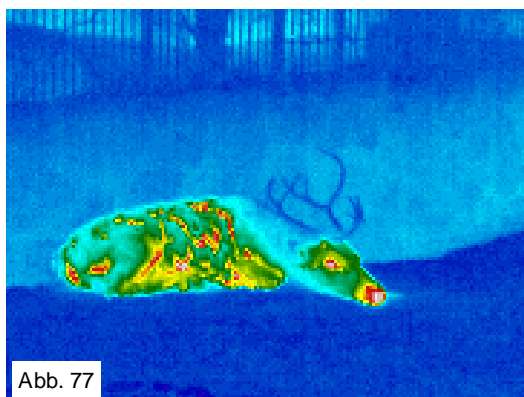
Infrarot-Befund:

Körper: 8,2 °C
Kopf (mit Augen): 14,3 °C
Ohren: 8,6 °C
Maul: 19,8 °C
Geweih: 2,8 °C
Beine (distal): 13,5 °C

Abb. 76: Rene

Wärmeabstrahlung gleichmäßig niedrig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul und Beine, vermindert über Ohren und Geweih.

Tierart: Ren *Rangifer tarandus*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 3,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

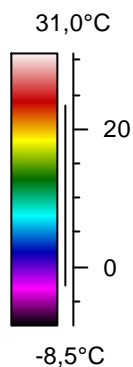
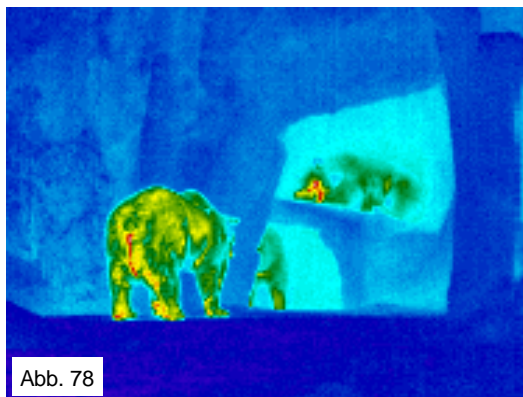
Körper: 13,5 °C
Kopf (mit Augen): 12,4 °C
Ohren: 5,6 °C
Maul: 24,3 °C
Geweih: 2,8 °C
Beine (distal): ---

Abb. 77: Ren -altes Tier

Wärmeabstrahlung ungleichmäßig über den Körper, viele Stellen mit über 30 °C Abstrahlung; vermehrt über Augen und Maul. Äußere Erscheinung des Tieres deutet auf Lücken im Fell hin; altes Tier.

Abb. 78-83: Thermoregulation bei Bären

Tierart: Braunbär *Ursus arctos*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 1,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

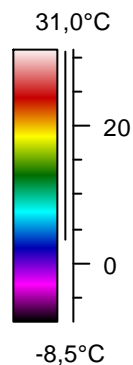
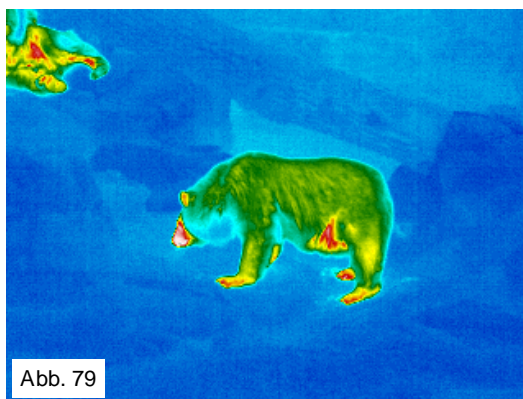
	Laufendes Tier	Liegendes Tier
Körper:	14,6 °C	10,2 °C
Kopf (mit Augen):	---	14,6 °C
Maul:	---	21,4 °C
Beine (distal):	15,5 °C	---

Abb. 78: Braunbären

Laufender Bär: Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul und Füße, vermindert über Ohren und Bauch.

Liegender Braunbär hat ca. 4,5 °C schwächere Wärmeabstrahlung als laufender.

Tierart: Kragenbär *Ursus thibetanus*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

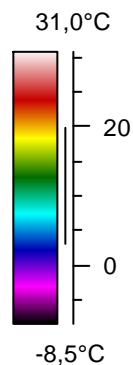
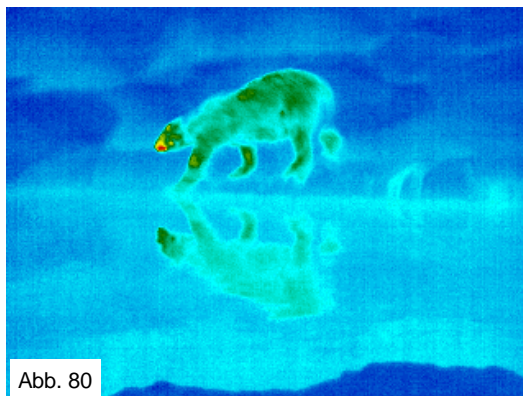
Infrarot-Befund:

Körper:	14,1 °C
Kopf (mit Augen):	11,3 °C
Maul:	27,3 °C
Beine (distal):	19,6 °C

Abb. 79: Kragenbär

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Maul, Ohren und Füße, vermindert über ventralen Hals und Brust. Die Wärmeabstrahlung über die ventral - kaudale Bauchregion ist sehr wahrscheinlich pathologisch; altes Tier.

Tierart: Eisbär *Ursus maritimus*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 1,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 13 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper:	10,0 °C
Kopf (mit Augen):	12,2 °C
Maul:	20,7 °C
Beine (distal):	8,7 °C

Abb. 80: Eisbär

Wärmeabstrahlung gleichmäßig niedrig über den ganzen Körper, vermehrt über Maul, vermindert über den Hals. Nase mit geringerer Abstrahlung als restliches Maul. Wärme-Spiegelbild des Eisbären auf Grund der höheren Wassertemperatur (6,4 °C) im Vergleich zur Lufttemperatur (1,0 °C).

Tierart: Lippenbär *Melursus ursinus*

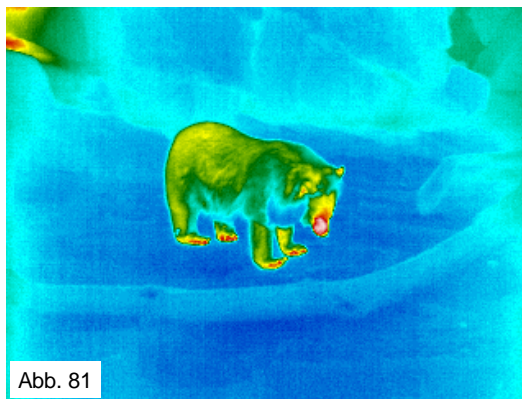
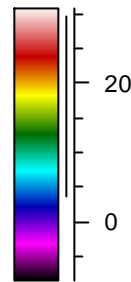


Abb. 81

31,0°C



-8,5°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 11 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 13,6 °C
Kopf (mit Augen): 14,3 °C
Maul: 27,6 °C
Beine (distal): 19,2 °C

Abb. 81: Lippenbär

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Ohren, Maul und Füße, vermindert über ventralen Hals und Bauch. Nase mit geringer Wärmeabstrahlung.

Tierart: Malaienbär *Melarctos malayanus*

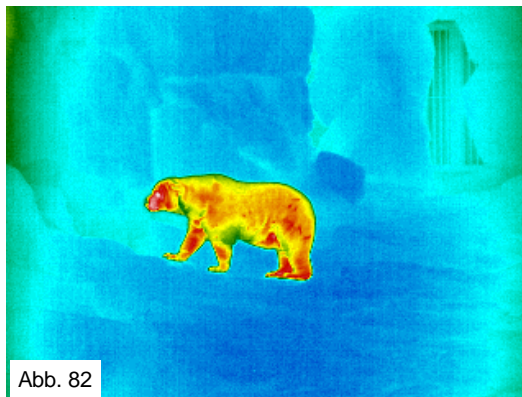
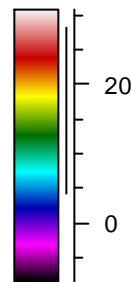


Abb. 82

31,0°C



-8,5°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 20,1 °C
Kopf (mit Augen): 23,0 °C
Maul: 27,7 °C
Beine (distal): 21,8 °C

Abb. 82: Malaienbär

Wärmeabstrahlung gleichmäßig stark über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Ohren, Maul, ventral-kaudale Bauchregion und Beine, vermindert über ventralen Hals und ventral-kraniale Bauchregion. Nase mit geringer Wärmeabstrahlung.

Tierart: Brillenbär *Tremactos ornatus*

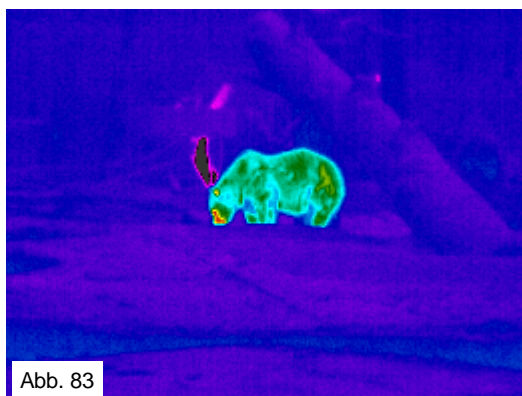
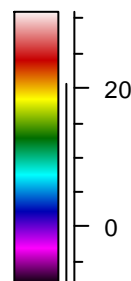


Abb. 83

31,0°C



-8,5°C

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 1,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 17 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 10,8 °C
Kopf (mit Augen): 11,5 °C
Maul: 19,6 °C
Beine: 11,4 °C

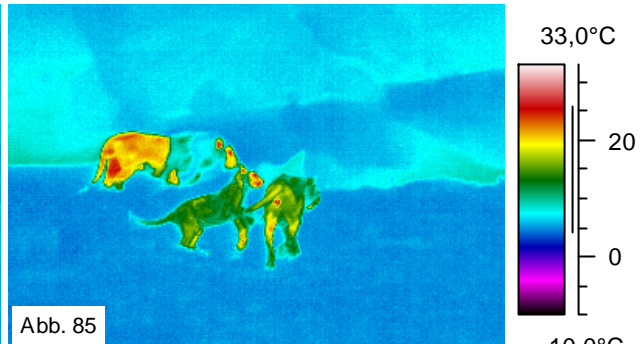
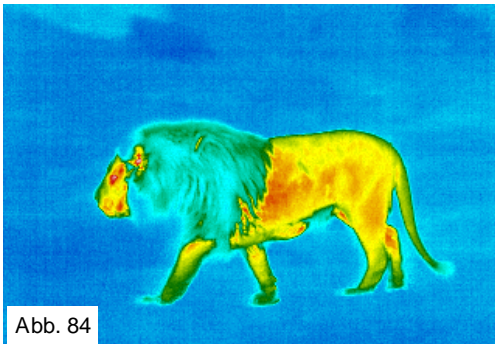
Abb. 83: Brillenbär

Wärmeabstrahlung gleichmäßig gering über den ganzen Körper, vermehrt über Augen, Ohren und Maul, vermindert über Teile des Halses und Bauches. "Weiße Brille" des Kopfes sichtbar als Region stärkerer Wärmeabstrahlung.

Abb. 84-88: Thermoregulation bei Katzen- und Hundeartigen

Tierart: Löwe *Panthera leo*

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998



Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m; 13 m
Altersgruppe: Adult + Juvenil

Infrarot-Befund:	Löwe	Löwin/Jungtier
Körper (Mähne):	9,1 °C	12,9/12,8 °C
Körper (kaudal):	20,4 °C	-- /13,3 °C
Kopf (mit Augen):	15,0 °C	10,3/16,0 °C
Maul:	19,7 °C	-- /21,3 °C
Beine (distal):	12,4 °C	15,9/16,2 °C

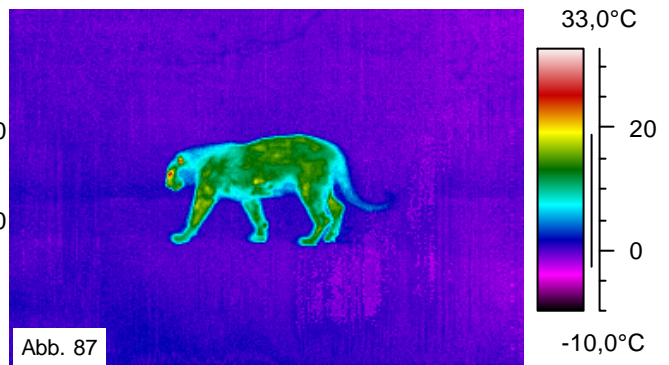
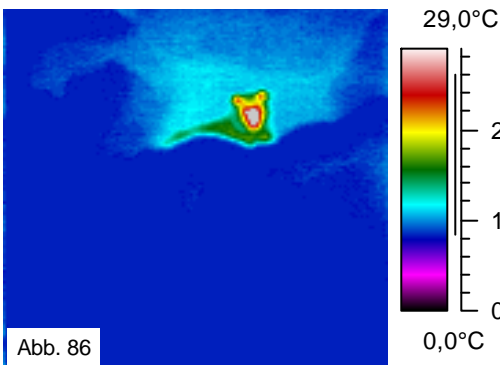
Abb. 84-85: Löwen

Wärmeabstrahlung über den Körper beim Weibchen und Jungtier gleichmäßig, beim Männchen: ungleichmäßig. Männchen: vermehrte Abstrahlung an Kopf und Körper außerhalb der Mähnenregion, vermindert im Mähnenbereich. Bei allen Tieren stärker über Augen, Ohren und Maul in Seitenansicht. Bei Adulten Abstrahlung über Maul geringer.

Tierart: Tiger *Panthera tigris*

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 4.3.1997

Ort: Zoo Leipzig (außen) Datum: 18.11.1998



Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 25 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund: Körper: 15,7 °C
Kopf: 26,0 °C

Umgebungstemperatur: - 1 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Sub-adult

Infrarot-Befund: Körper: 13,1 °C
Kopf (mit Augen): 11,9 °C
Maul: 12,2 °C
Beine (distal): 13,4 °C

Abb. 86: Tiger in Höhle

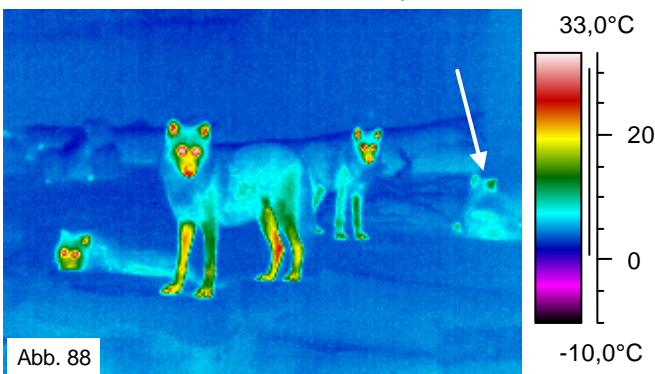
Tiger trotz totaler Dunkelheit und ohne Mondschein mit Infrarot sichtbar. Er liegt in einer Höhle, die er mit seiner Körperwärme aufheizt.

Abb. 87: Tiger

Tiger in Wärmeabstrahlung vergleichbar mit weiblichen und juvenilen Löwen.

Tierart: "Weißer" Wolf *Canis lupus*

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998



Umgebungstemperatur: 1,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m
Altersgruppe: Adult

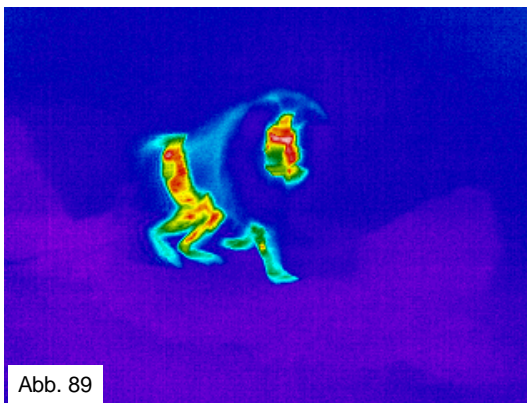
Infrarot-Befund: Körper: 6,5 °C
Kopf (mit Augen): 13,7 °C
Maul: 19,0 °C
Beine (distal): 14,4 °C

Abb. 88: "Weiße" Wölfe

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den Körper, vermehrt über Augen, Maul, Ohren und Beine. Ruhendes Tier rechts hebt sich kaum von der Umgebung ab.

Abb. 89-91: Thermoregulation bei Primaten

Tierart: Mantelpavian *Papio hamadryas*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 8 m
Altersgruppe: Adult

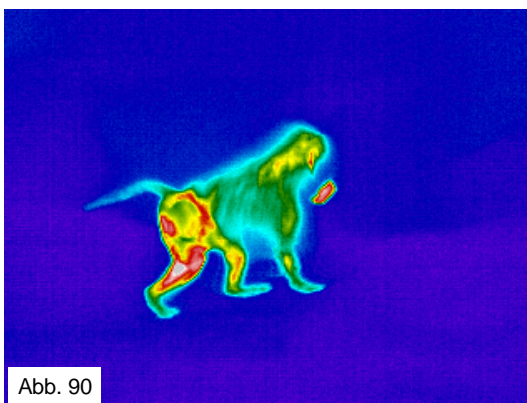
Infrarot-Befund:

Gesicht: 24,5 °C
Kopf-Mähne: 6,0 °C
Rücken-Mantel: 8,8 °C
Unterleib: 21,4 °C
Beine (distal): 12,3 °C

Abb. 89: Adulter Mantelpavian

Wärmeabstrahlung des Männchens über die Mähne des Kopfes und Oberkörpers gering, vermehrt über das Gesicht und über kahle oder spärlich behaarte Körperstellen.

Tierart: Mantelpavian *Papio hamadryas*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 8 m
Altersgruppe: Subadult

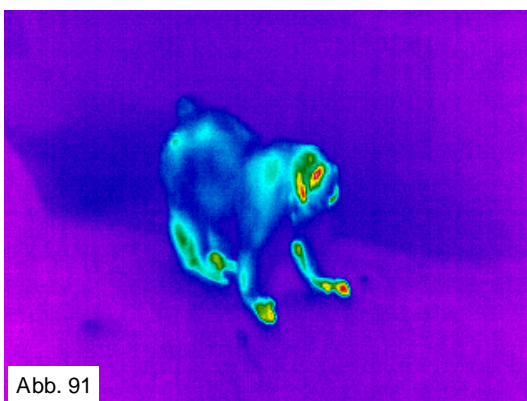
Infrarot-Befund:

Maul: 29,4 °C
Kopf-Mähne: 16,4 °C
Rücken-Mantel: 13,5 °C
Unterleib: 21,6 °C
Beine (distal): 13,8 °C

Abb. 90: Subadulter Mantelpavian

Wärmeabstrahlung an der Mähne des Kopfes und Oberkörpers gering, im Gesicht und an kahlen oder spärlich behaarten Körperstellen vermehrt. Subadultes Tier zeigt stärkere Wärmeabstrahlung als das adulte.

Tierart: Rotgesichtsmakak *Macaca fuscata*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

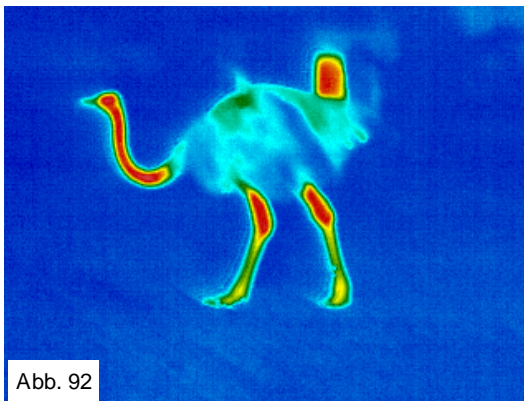
Körper (kranial): 9,9 °C
Körper (kaudal): 7,9 °C
Kopf (mit Ohr): 11,7 °C
Maul: 11,2 °C
Beine (distal): 12,4 °C

Abb. 91: Rotgesichtsmakak

Wärmeabstrahlung über den Körper gering, vermehrt über Ohren, Arme und Beine. Ein großer Teil des Körpers ist in seiner Abstrahlung kaum von der Umgebung zu unterscheiden.

Abb. 92-100: Thermoregulation bei Vögeln

Tierart: Strauß *Struthio camelus*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

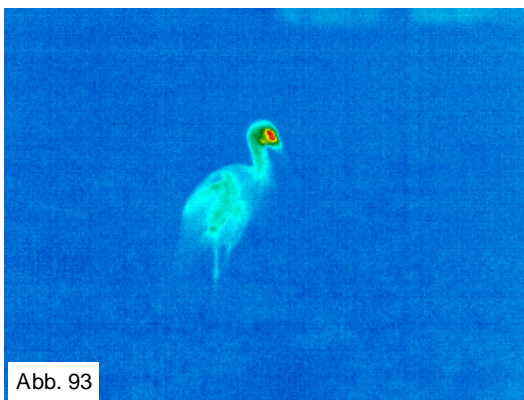
Infrarot-Befund:

Körper: 6,8 °C
Kopf (mit Augen): 20,7 °C
Schnabel: 11,1 °C
Hals: 24,9 °C
Beine (proximal): 26,8 °C
Beine (distal): 19,1 °C

Abb. 92: Strauß

Wärmeabstrahlung gering über den Rumpf, stark über Kopf, Hals, proximale Beinregionen und Bürzelregion, mittelmäßig über Schnabel und distale Beine.

Tierart: Weißstorch *Ciconia ciconia*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m
Altersgruppe: Adult

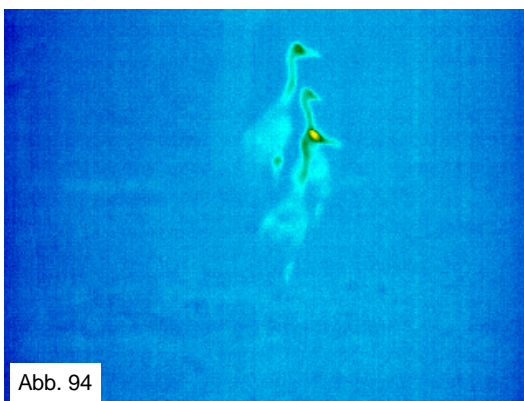
Infrarot-Befund:

Körper: 7,6 °C
Kopf (mit Augen): 11,6 °C
Schnabel: 4,3 °C
Hals: 8,3 °C
Beine (proximal): 6,6 °C
Beine (distal): 4,4 °C

Abb. 93: Weißstorch

Wärmeabstrahlung gering über den Körper, vermehrt über Augen, vermindert über ventrale Halsregion und distale Beinregion.

Tierart: Mandschurenkranich *Grus japonensis*



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m
Altersgruppe: Adult

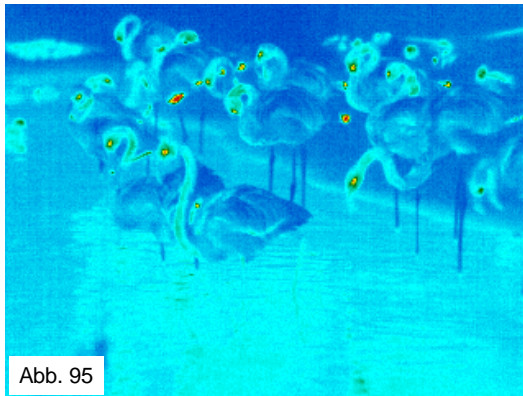
Infrarot-Befund:

Körper: 6,2 °C
Kopf (mit Augen): 13,2 °C
Schnabel: 8,5 °C
Hals: 9,1 °C
Beine (proximal): 6,4 °C
Beine (distal): 5,6 °C

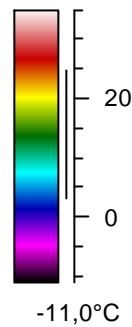
Abb. 94: Mandschurenkraniche

Wärmeabstrahlung gering über den Körper, vermehrt über Augen und Hals, vermindert über kaudalen Körper (lange Federn) und distale Beinregionen.

Tierart: Roter Flamingo *Phoenicopterus ruber ruber*



35,0°C



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 4,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m
Altersgruppe: Adult

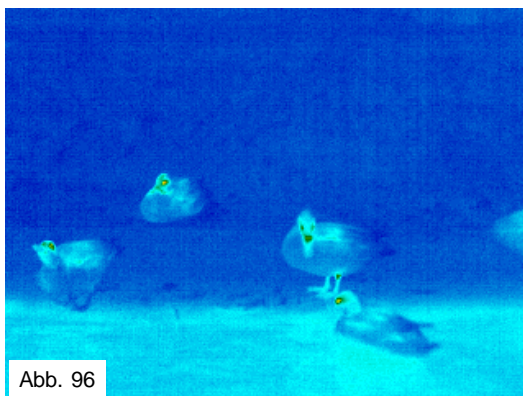
Infrarot-Befund:

Körper: 5,3 °C
Kopf (mit Augen): 9,5 °C
Schnabel: 6,3 °C
Beine: 5,1 °C
Wasser: 7,4 °C

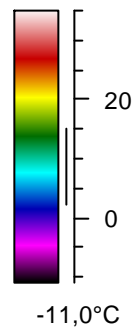
Abb. 95: Rote Flamingos

Wärmeabstrahlung über den Körper gering, vermehrt über die Augen. Beine zeigen geringere Abstrahlung als das Wasser. Tiere stehen im Wasser.

Tierart: Stockente *Anas platyrhynchos*



35,0°C



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 4,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m
Altersgruppe: Adult

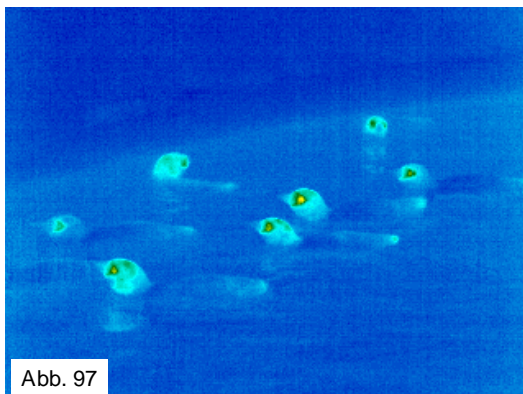
Infrarot-Befund:

Körper: 5,5 °C
Kopf (mit Augen): 7,9 °C
Schnabel: 7,2 °C
Beine: 7,6 °C
Wasser: 6,7 °C

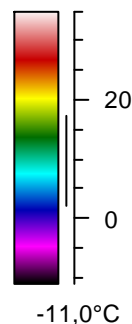
Abb. 96: Stockenten

Wärmeabstrahlung über den Körper gering, vermehrt über Augen und Schnabelansatz. Beine des stehenden Vogels zeigen stärkere Abstrahlung als das Wasser. Tiere sitzen an Land auf ihren Füßen, eine Ente schwimmt im Wasser.

Tierart: Humboldtpinguin *Spheniscus humboldti*



35,0°C



Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,5 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper: 4,1 °C
Kopf (mit Augen): 8,5 °C
Schnabel: 4,5 °C
Beine: —
Wasser: 4,0 °C

Abb. 97: Humboldtpinguine

Wärmeabstrahlung über den Körper im Wasser gleicht der Abstrahlung des Wassers. Die Köpfe strahlen stärker Wärme ab, die Augen am stärksten.

Tierart: Königspinguin *Aptenodytes patagonica*

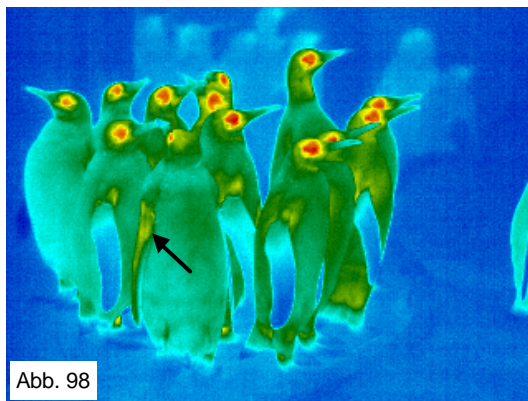


Abb. 98

Abb. 98: Königspinguine

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über die Augen, vermindert über Flügel und Füße. Pinguin vorn links zeigt auffällig starke Wärmeabstrahlung über den linken Flügel: dreimal so hoch wie bei den Flügeln anderer Pinguine (pathologischer Befund?).

Ort: Zoo Berlin (Kühlraum) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Vögel:	links	rechts
Körper:	12,2 °C	13,4 °C
Kopf (mit Augen):	17,5 °C	17,6 °C
Schnabel:	9,5 °C	9,8 °C
Flügel:	5,7 °C	5,3 °C
Flügel (pathologisch):	16,7 °C	—
Füße:	4,7 °C	5,2 °C
Boden:	3,7 °C	4,4 °C

Tierart: Felsenpinguin *Eudyptes crestatus*

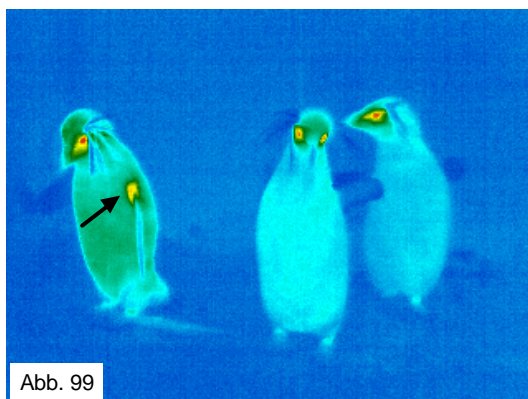


Abb. 99

Abb. 99: Felsenpinguine

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über die Augen, vermindert über Flügel und Füße. Der linke Pinguin strahlt mehr Wärme ab als die rechten (Fieber?). Der linke Flügel des linken Pinguins zeigt hohe Abstrahlung, Flügelansatz bei 20,5 °C (pathologischer Befund?).

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 6,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2,5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

	Vogel links	Vögel rechts
Körper:	10,9 °C	7,0 °C
Kopf (mit Augen):	11,2 °C	10,2 °C
Schnabel:	10,6 °C	10,5 °C
Flügel:	9,9 °C	3,6 °C
Flügel (pathologisch):	20,5 °C	—
Füße:	4,6 °C	4,5 °C
Boden:	3,9 °C	4,1 °C

Tierart: Brillenpinguin *Spheniscus demersus*

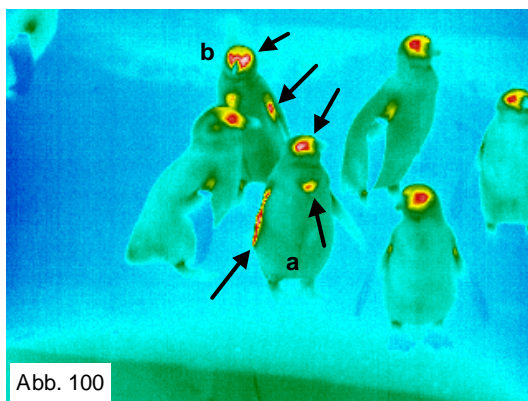


Abb. 100

Abb. 100: Brillenpinguine

Wärmeabstrahlung gleichmäßig über den ganzen Körper, vermehrt über die Augen, vermindert über Flügel und Füße. Pinguine "a" und "b" mit vermehrter Abstrahlung über Körper und Flügel. Auch die Augen beider Tiere zeigen eine erhöhte Wärmeabstrahlung (Fieber?). Pinguin "a" mit auffallend starker Abstrahlung über den rechten Flügel und die Brust. Pinguin "b" mit vermehrter Abstrahlung an beide Flügelansätze (pathologische Befunde?).

Ort: Zoo Berlin (außen) Datum: 9.11.1998

Umgebungstemperatur: 2,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2,5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

	Pinguine "a" + "b"	Andere Pinguine
Körper:	11,5 °C	9,7 °C
Kopf (mit Augen):	20,3 °C	17,3 °C
Schnabel:	9,8 °C	9,5 °C
Flügel:	7,7 °C	6,0 °C
Flügel (pathologisch):	25,0 °C	—
Füße:	7,8 °C	7,2 °C
Boden:	7,5 °C	7,5 °C

5.2 Diskussion zu den Untersuchungen zur allgemeinen und pathologischen Thermoregulation bei Zoo- und Wildtieren mittels Infrarot-Thermographie

Säugetiere können ihre Körperkerntemperatur innerhalb enger Grenzen konstant halten, indem sie ihr Verhalten, ihre Isolationsbedingungen und ihre Wärmeproduktion ändern. Jede Tierart hat dabei eine eigene Kombination dieser drei Methoden entwickelt, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung zu regulieren (PFLUMM 1989, LOUW 1993). Jede Tierart kann zur Thermoregulation auch spezifische Körperregionen sog. „thermische Fenster“ nutzen, z.B. Achselhöhlen, Augen, Ohren, Nase/Maul und Hörner (KRUMBIEGEL 1953/55, TAYLOR 1966, DeLAMO & HEATH 1985, KLIR 1991, PHILLIPS 1992). In den Arbeiten zu Thermophysiologie von Guanakos (DeLAMO 1989), Füchsen (KLIR 1991) und diversen Zootierarten (PHILLIPS 1992) wurden für die Untersuchungen erstmals ausschließlich die stressfreie Infrarot-Thermographie eingesetzt. In ältere Arbeiten nutzten die Forscher Tiere, die manipuliert und in Apparaturen fixiert worden waren, z.B. auf einem Laufband mit an Kopf oder Beinen angebrachten Elektroden (TAYLOR 1966), oder eingerieben mit einer temperatur-sensitiven Paste (KRUMBIEGEL 1953/55). Die so manipulierten Tiere könnten auf Grund des Streßfaktors verfälschte Temperaturwerte gezeigt haben, was in den Untersuchungen nicht immer berücksichtigt wurde (KAEMMERER & BUNTENKÖTTER 1971). Die korrekt durchgeführte Infrarot-Thermographie bietet hingegen eine sichere, stress- und risikofreie sowie jederzeit wiederholbare Methode.

In einer Studie über die Thermoregulation bei Zootieren hatte PHILLIPS (1992) die Infrarot-Thermographie zur Messung der Körperoberflächen-Temperaturen eingesetzt. Sie untersuchte einige ausgewählte Säugetierarten bei verschiedenen Außentemperaturen. Für diese Untersuchungen wurde noch eine stickstoffgekühlte Infrarot-Kamera verwandt. Besonders in den letzten zwei bis fünf Jahren hatte die Infrarot-Technik einen enormen Fortschritt zu verzeichnen, so daß neue, detailliertere und weiterführende Untersuchungen bei Haustieren möglich wurden, z.B. die Arbeiten von VON SCHWEINITZ (1998, 1999), sowie die von COLLES (2000a, 2000b). Erst dieser technische Fortschritt ermöglicht jetzt den breiten Einsatz der Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin.

Die artgemäße Tierhaltung sollte heute das Anliegen jeden Tiergärtners sein. Hierzu sind Kenntnisse und Informationen auch über die Thermoregulation und über mit Thermoregulation assoziiertes Verhalten der Tiere zwingend erforderlich. Viele Aspekte hierzu wurden im Kapitel „Thermoregulation der Tiere - Literaturübersicht“ erörtert. Für einen Großteil der Tierarten stehen jedoch keinerlei Untersuchungsergebnisse zur Verfügung, oder es wurden nur wenige Teilaspekte erforscht. Heutzutage sind bei Tieren detaillierte Temperaturmessungen auch aus der Distanz möglich. So könnten thermoregulatorische Momente in das Bemühen um eine artgerechte Tierhaltung im Zoologischen Garten einbezogen werden. Viele offene Fragen stehen für den praktischen Tiergärtner noch zur Abklärung an: Wann und unter welchen Bedingungen können Tiere noch im Außengehege gehalten werden, wann besser im Haus? Wie gestalten verschiedene Tierarten ihre Wärmeregulation? Wie kann thermoregulatorisches Verhalten beurteilt werden? Brauchen Tiere eine saisonale Temperaturverschiebung? Welchen Einfluß hat ein geheizter Stall im Winter auf die Gesundheit der Tiere? Können

sich Tiere an kühle Umgebungstemperaturen auf der Außenanlage genügend adaptieren, wenn sie nur wenige Stunden am Tag den geheizten Stall verlassen, um auf der Außenanlage Bewegung zu finden? Können Krankheiten wie Erkältungen durch saisonale Modulation der Umgebungstemperatur vermieden werden? Für diese und weitere Fragen stellen die eigenen Untersuchungen erste Ergebnisse und deren Bedeutung vor.

Für das Thema "Allgemeine und pathologische Thermoregulation" wurden verschiedene Tierarten vorgestellt, die unter möglichst gleichen Bedingungen bzgl. Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit thermographiert wurden. Die meisten Aufnahmen stammten daher von einem Ort, dem Zoologischen Garten Berlin, und von einem einzigen Datum, dem 9.11.1998. Auf Grund seiner großen Artenvielfalt bot gerade dieser Zoo ein beispielloses Umfeld für vergleichende Untersuchungen. Einige der dargestellten Abbildungen verschiedener Tierarten dienen der Verifikation der Daten von PHILLIPS (1992), jetzt mittels modernster Infrarot-Technik.

Elefanten

Sowohl der Asiatische Elefant (*Elephas maximus*) als auch der Afrikanische ließen nach PHILLIPS (1992) in ihrer Wärmeabstrahlung über einen weiten Umgebungstemperaturbereich kühle Ohren im Verhältnis zum wärmeren Körper erkennen. Für niedrige (0-5 °C) und mittlere (15-20 °C) Temperaturen bestätigten die Infrarot-Bilder (Abb. 21-24) die Ergebnisse von PHILLIPS (1992). Wie Abbildung 21 und 22 erkennen lassen, konnten sich Afrikanische Elefanten besser an kalte Umgebungstemperaturen auf Außenanlagen anpassen als Asiatische. Die Wärmeabstrahlung über den Körper war beim Afrikanischen Elefanten um 6,5 °C geringer als beim Asiaten. Die viel schlechtere Isolierung des Asiatischen Elefanten gegen Wärmeverluste läßt sich einerseits mit der Lebensweise und der geographischen Verbreitung der Tiere und zum anderen mit den Haltungsbedingungen in den beiden Tiergärten erklären. Die Afrikanischen Elefanten des Serengeti Safariparks Hodenhagen (Zoo Hodenhagen) wurden auch im Winter für viele Stunden auf die Außenanlage gelassen. Auch die Stallungen wurden in diesem Safaripark auf niedrigen Temperaturen gehalten, so daß die Tiere sich an kühle Temperaturen adaptieren konnten. Im Zoologischen Garten Berlin dagegen wurden die Asiatischen Elefanten in einem Haus bei ca. 18-20 °C gehalten, unabhängig davon, welche Temperaturen außen herrschten. Eine Kälteadaptation dieser Tiere war daher schwer möglich. In vielen Zoologischen Gärten wurden die Elefanten bei Außentemperaturen unter 19 °C (Asiatischer) bzw. unter 14 °C (Afrikanischer Elefant) nicht auf die Außenanlage gelassen (PHILLIPS 1992). Es existieren daher keine Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungen. Afrikanische Elefanten haben ein Verbreitungsgebiet bis ins südliche Afrika und leben in der Savanne mit Grasland bzw. in bewaldeten Gebieten (ESTES 1991). In diesem Verbreitungsgebiet herrschen Tagestemperaturen von bis zu 50 °C bei trockenem Wüsten- (SIKES 1971) bis feuchtem tropischem Regenwaldklima (PRINZIVALLI 1992). Afrikanische Elefanten leben auch in Regionen bis zu 4600 m Höhe (SIKES 1971) und somit in Gebieten mit Wintertemperaturen sporadisch bis zu – 15 °C (LOW & REBELO 1998). Asiatische Elefanten leben meist in feuchtwarmen Klimaregionen im Regenwald von Asien, auf Sumatra auch bis in Höhen von 3000 m, im Himalaja sogar bis kurz unterhalb der Schneegrenze (PUSCHMANN 1989). Wie die vorgelegten Ergebnisse zeigen (Abb. 21 und 22), hat sich während der Evolution beim Afrikanischen, offenbar im Gegensatz zum Asiatischen Elefanten, ein Mechanismus der Wärmekonservierung entwickelt. Ob die bessere Wärmekonservierung des hier untersuchten Afrikanischen Elefanten eines Safariparks (Abb. 21) allein auf die evolutive Anpassung mit effektiveren Wärmedämmungs-Maßnahmen zurückzuführen ist, bleibt

weiteren Experimenten vorbehalten. Sehr wahrscheinlich waren die Tiere dieses Parks besser an eine kühle Umgebung adaptiert, da sie auch im Winter täglich viele Stunden auf der Außenanlage verbrachten. Eine Kombination beider Faktoren scheint am wahrscheinlichsten.

Die Ohren sind bei Elefanten ein sehr empfindliches Organ zur Temperaturregulation. Bei beiden Elefantenarten ließen sich die Ohrvenen mit der Infrarot-Thermographie darstellen. Nach Angaben aus der Literatur können einige Elefanten fast die gesamte überschüssige Wärme aus dem Stoffwechsel über die Ohren abgeben (PHILLIPS 1992, PHILLIPS & HEATH 1992). Die Ergebnisse aus den Untersuchungen von CENA & CLARK (1973b), PHILLIPS (1992) und PHILLIPS & HEATH (1992) sind im allgemeinen vergleichbar mit den in der vorliegenden Arbeit gefundenen Werten. Die Ohren waren bei einer Umgebungstemperatur von ca. 15-18 °C kühler als der Körper. Die Berechnung der eigentlichen Temperaturwerte war in der vorliegenden Untersuchung genauer als bei älteren, da eine direkte Umwandlung der Infrarot-Abstrahlung in Temperaturwerte erfolgte. Bei älteren Kameras mußte erst ein Umweg über eine zweifache Umwandlung digital-analog-digital über eine Grauwertanalyse vorgenommen werden (PHILLIPS 1992). Die von der Firma AGEMA entwickelten neuen Infrarot-Kameras Thermovision® 470, 550 und 570 erlauben ein direktes Ablesen der Objekttemperaturen im Sucher der Kamera oder mittels der Computersoftware IRWIN 5.22 im gespeicherten Bild am Computerbildschirm. Die Temperaturbestimmung ist dadurch immer sofort möglich (AGEMA 1989, 1996, 1998). Eine indirekte und ungenaue Bestimmung über eine Grauwertanalyse überflüssig

Dem Afrikanischen Elefanten steht mit seinen größeren Ohren eine entsprechend größere Ohr-Oberfläche zur Thermoregulation zur Verfügung als dem Asiatischen. In Experimenten wurde ermittelt, daß der Afrikaner 91,3 % seiner durch den Stoffwechsel erzeugten Wärme über die Ohren abgeben kann, der Asiatische Elefant hingegen nur 33,1 % (PHILLIPS & HEATH 1992). Kaninchen regulieren beispielsweise ihre Körpertemperatur über ihre Ohren und können, wie der Asiatische Elefant, 33,1 % ihrer Stoffwechselwärme über die Ohrmuschel abgeben (MOHLER & HEATH 1988a). Ein Vergleich zwischen Werten aus der Infrarot-Thermographie und der Thermocouple-Methode belegte, daß die erste Methode genauere Werte lieferte (MOHLER & HEATH 1988b). Abbildung 32 zeigt einen Afrikanischen Elefanten mit Sonneneinstrahlung auf der Stirn bei einer Umgebungstemperatur von 29 °C. Über der Stirn war die stark erhöhte Wärmeabstrahlung an der Hautoberfläche zu erkennen. Die besonders an ihrem Rand kühlen Ohren waren aber Zeichen ausgeglichener Thermoregulation. Die hier gefundenen Werte stehen jedoch im Gegensatz zu denen von PHILLIPS (1992). Sie gab bei vergleichbaren Umgebungstemperaturen eine um 10 °C stärkere Wärmeabstrahlung über die Ohren an. PHILLIPS gibt keine Erklärung für ihre hohen Werte. Vielleicht waren die Elefanten zuvor sehr aktiv oder wurden bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit bzw. im prallen Sonnenschein gemessen, so daß die Sonnenreflexion auf den Ohren zu erkennen war. Dies läßt sich im Nachhinein nicht beurteilen, da in der Arbeit von PHILLIPS (1992) keine Elefanten-Thermogramme abgebildet wurden. Die bei PHILLIPS & HEATH (1992) angegebenen Werte entsprechen eher den Werten der vorliegenden Arbeit. In der Arbeit von PHILLIPS und HEATH (1992) lag die Abstrahlung über die Ohren 3 bis 7 °C über der Umgebungstemperatur. In der vorliegenden Arbeit lagen die Oberflächentemperaturen der Elefantenohren zwischen 3 °C unter bis 1 °C über denen der Außentemperatur. Diese Diskrepanzen zu den Werten aus den Studien von PHILLIPS (1992) und PHILLIPS & HEATH (1992) können hier nicht aufgeklärt

werden. In beiden Arbeiten werden keine Angaben zu den Untersuchungsbedingungen, wie z.B. zur Luftfeuchtigkeit oder Sonneneinstrahlung, gemacht. Bei all den in die eigene Arbeit eingegangenen Untersuchungen an Elefanten war die Abstrahlung über die Ohren stets geringer als über dem Körper, es sei denn, die Tiere wurden intensiv und lange von der Sonne beschienen, oder sie befanden sich oberhalb der kritischen Temperatur bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit im Wärmestau.

Das Beispiel aus der Zoopraxis verdeutlichte die Aktualität solcher Problematik: Nach Unterbringung der Asiatischen Elefanten im neugebauten Tropenhaus eines Zoos wirkten die Tiere nach Aussage der Tierpfleger sehr abgeschlagen. Bei diesen Tieren war eine starke Wärmeabstrahlung über den ganzen Körper zu beobachten (Abb. 25-31). In Abbildungen 25, 26a, 26b und 30 ist die verstärkte Abstrahlung besonders über die Ohren, Ohrvenen und Ohrränder gut zu erkennen. Die Ohren waren nicht kühl wie in anderen Thermogrammen, sondern warm. Diese Bilder machen deutlich, daß die Elefanten durch Vasodilatation versuchten, über die gesamte Körperoberfläche, besonders aber über die Ohren, übermäßige Wärme abzugeben. Auch wenn Elefanten in warmen Ländern heimisch sind, sind sie auf Grund ihrer Körpergröße nicht gut an Hitze angepaßt, müssen sich also vor Überhitzung schützen. Dies tun sie z.B. durch Aufsuchen von Schlammuhlen oder Wasser, Schatten und feuchter Erde (BÜRGER *et al.* 1980), oder sie wandern vorübergehend gar aus der Region ab (PUSCHMANN 1989). Im natürlichen Lebensraum stehen den Asiatischen Elefanten Schatten, Wasserquellen, Speichel aus der Backentasche oder feuchte Erde zur passiven Wärmeregulation durch Transpiration zur Verfügung (KRUMBIEGEL 1953/55). In diesem neugebauten Tropenhaus für Asiatische Elefanten war ein uneingeschränkter Zugang zu kühlendem Wasser bzw. zu feuchter Erde nicht möglich. Bei einer Luftfeuchtigkeit von 95 % und einer Temperatur von 29 °C und mehr war den Elefanten Wärmeabgabe fast unmöglich. Hohe Luftfeuchtigkeit und geringe Differenz zwischen Körperkern- und Körperoberflächen-Temperaturen reduzierten stark die Möglichkeit der aktiven Wärmeabgabe über die Haut (LOUW 1993). BERGSMANN (1980a) weist darauf hin, daß ein Klima mit hoher Temperatur und hoher relativer Luftfeuchtigkeit eine biologisch stark negative Wirkung auf ein Säugetier hat. Die obere kritische Temperatur ist bei diesen Tieren weit überschritten. Wie Abbildung 3 (Seite 15) zeigt, ist die Toleranz gegen Überhitzung kleiner als die gegen Unterkühlung (PFLUMM 1989). Zwei Elefanten verstarben aus ungeklärter Ursache. Auf Grund der Thermogramme besteht jedoch der dringende Verdacht, daß hier ein Zusammenhang mit Überhitzung bestehen könnte. Retrospektiv gesehen befanden sich die Elefanten in diesem neuen Tropenhaus wahrscheinlich durch den anhaltenden Wärmestau in einer lebensbedrohlichen Situation. Veränderte Haltungsbedingungen sollten zukünftig thermographisch überwacht werden. Als die Luftfeuchtigkeit reduziert wurde, besserte sich der Zustand der überlebenden Tiere. Sie wurden wieder agiler.

Es gibt beim Elefanten, ähnlich wie bei Giraffen (LANGMANN & MALOIY 1989), Breitmaulnashörnern (ALBROOK *et al.* 1958) und Oryx-Antilopen (TAYLOR 1969b), erste Anzeichen dafür, daß sie mittels passiver obligatorischer Heterothermie ihre Körpertemperatur tagsüber langsam ansteigen lassen können, um Wasser und Energie zu sparen (LANGMANN pers. Komm.1992: in PHILLIPS & HEATH 1992). Unter den gleichbleibenden Klimabedingungen des vorgestellten Tropenhauses war den Elefanten aber eine nächtliche Abgabe der überschüssigen Wärme nicht möglich.

Abbildungen 33 bis 36 dokumentieren die Situation eines Jungelefanten, der ausnahmsweise während der thermographischen Untersuchung der Leitkuh tagsüber angekettet wurde. Die Thermogramme verdeutlichen die starke Abstrahlung von Wärme über die Ohren des Jungelefanten während einer Stresssituation. Zum Zeitpunkt der Aufnahmen zeigte das Tier intensives „Webeverhalten“ (seitliche, schaukelnde Bewegungen), Trompeten und aufgeregtes Rüsseln. Die erhöhte Wärmeabgabe über die Ohren wurde daher als Zeichen der Erregung bzw. einer Streßreaktion gewertet. Den Verdacht, daß Elefanten in Streßsituationen ihre Ohren verstärkt durchbluten, äußerte schon BENEDICT (1936). In der vorliegenden Arbeit konnte mittels der Infrarot-Thermographie dieses Phänomen sichtbar gemacht und mit Daten belegt werden. In einer früheren Arbeit von BENEDICT *et al.* (1921) wurde bei je einem Asiatischen und Afrikanischen Elefanten an den ventralen Ohrmuscheln eines Ohres lokal erhöhte Temperaturen gemessen. Die Temperatur der Ohren veränderte sich auffällig an den drei aufeinanderfolgenden Untersuchungstagen. Die Tiere wurden während der Untersuchungen als „sehr nervös“ charakterisiert (BENEDICT *et al.* 1921). Auswirkungen von Streß auf die Thermoregulation konnte mittels Infrarot-Thermographie schon bei Schweinen (SCHAEFER *et al.* 1989) und Menschen nachgewiesen werden (BAKER *et al.* 1976, HENSEL 1980).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Elefanten mit kühlen Ohren und einer geringen Wärmeabstrahlung über den Körper eine ausgeglichene Thermoregulation besitzen. In kalten Umgebungstemperaturen waren kühle Ohren bei starker Wärmeabstrahlung über den Körper ein Zeichen schlechter Isolierung. Der Elefant verlor so viel Wärme, daß er seine Ohren nicht mehr vermehrt durchbluten konnte. Hier könnte die Gefahr des Gefrierbrandes bestehen, was bei Zirkuselefanten schon beobachtet wurde (BENEDICT 1936). Der Gefrierbrand ist auch von anderen Tieren bekannt (DORREINSTEIN & KUMMERFELD 1998). Bei hohen Umgebungstemperaturen und hoher relativer Luftfeuchtigkeit hingegen wurde eine starke Wärmeabstrahlung über den Körper, kombiniert mit einer hohen Abstrahlung über die Ohren gemessen. Dieses veränderte Wärmeprofil mußte als Anzeichen für drohenden oder bestehenden Wärmestau gewertet werden. Binnen kurzer Zeit heiß werdende Ohren waren beim Elefanten ein Hinweis auf Streß und Nervosität. Zur Absicherung dieser Aussage, sind in Zukunft Experimente nötig.

Pferdeartige

Anhand der Infrarot-Thermogramme der zwei dargestellten Hauspferderassen Schwarzwälder Kaltblut (Abb. 37) und Haflinger (Abb. 38) sowie des Przewalskipferdes (*Equus przewalski przewalski*) (Abb. 39) läßt sich erkennen, daß diese Pferdeartigen bei kalten Temperaturen ihre Körperoberflächen-Temperaturen ähnlich regulierten: Augen und Maul zeigten starke Wärmeabstrahlung. Die Hufe wurden bei kühlen Temperaturen erwärmt, vermutlich, um eine Schädigung des Hufaufhängemechanismus mit seinen feinen Blutgefäßstrukturen zu verhindern. Diese Beobachtungen galten auch für Zebras. Bei höheren Umgebungstemperaturen zeigte nur der Kronsaum erhöhte Temperatur, was auf eine hohe Stoffwechselaktivität dieses Gebietes hinweist (PURHOIT & MCCOY 1980). Im Pferdehuf sind besonders hohe Konzentrationen an arterio-venösen Anastomosen zu finden (TALUKDAR *et al.* 1972, POLLITT & MOLYNEUX 1990). Bei vielen Tierarten wurden solche Strukturen in Körperregionen mit besonderer Bedeutung für die Thermoregulation gefunden. Bei Ponys und Großpferden wurden die Hufe bei Umgebungstemperaturen von 20 °C nicht erwärmt, so daß sie die kühlest Stellen des Pferdebeines waren (MOGG & POLLITT 1992). Bei einer Temperatur von

etwa 2-4 °C wurden die Hufe stark durchblutet und somit erwärmt. Eine gezielte Untersuchung der Wärmeregulation der Hufe sollte in Zukunft mehr Bedeutung erlangen, da die Huftemperatur offenbar in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur eine spezifische Temperaturkurve aufweist. Bei 18 °C und 27 °C war der Huf wärmer als bei 19 °C (PALMER 1981). STRÖMBERG & NORBERG (1971) konnten eine Korrelation zwischen der Durchblutung und der Infrarot-Emission an Pferdebeinen nachweisen. Zwischen den linken und rechten Vorder- bzw. Hinterextremitäten bestand hinsichtlich der Wärmeverteilung eine ausgeprägte Symmetrie. Die Symmetrie zwischen Vorder- und Hinterbeinen bestand nur distal der Karpal- bzw. Tarsalgelenke (PUROHIT 1980, PUROHIT & McCOY 1980). Die Fellfarbe spielte keine Rolle bei den Messungen im Stall ohne Einfluß von Sonneneinstrahlung (PALMER 1981). Eine Rolle spielt bei diesen Untersuchungen aber die Meßmethode. WEBBON (1978) verwendete ein Handthermometer, womit er die eigentliche Hauttemperatur maß. Bei der Messung mittels Handpyrometer wurden keine Ergebnisse für die eigentliche thermoregulatorisch wichtige Körperoberflächen-Temperatur gewonnen und auch die Fellhaar-Länge wurde nicht berücksichtigt. Die Symmetrien bei den Hauttemperaturen der Beine waren bei dieser Methode nur in 90 % der untersuchten Pferde zu finden. Das Scheren der gesamten Beinhaare brachte keine Veränderungen im Temperaturmuster der Beine, geschorene Beine waren aber insgesamt wärmer als ungeschorene (TURNER *et al.* 1983). Unter gleichbleibenden Umgebungstemperaturen veränderten sich die Oberflächentemperaturen der Pferdebeine nicht, waren aber bei niedrigen Temperaturen nicht so stabil wie bei höheren (MOGG & POLLITT 1992). TURNER (1993) fand, daß die Hautoberflächentemperaturen über Venen normalerweise etwas höher waren als über Arterien, da die Venen Blut aus stoffwechselaktiven Gebieten abführten. Bei entzündeten Sehnen veränderte sich das Hautoberflächen-Temperaturprofil, lange bevor eine klinische Lahmheit zu erkennen war (MARR 1992, WALDSMITH 1992). Generell stellt die Infrarot-Thermographie heutzutage bei der Diagnose von Weichteilverletzungen und Entzündungen beim Pferd eine wichtige Methode dar (SEEHERMAN 1993).

Wie in den Abbildungen 37 bis 42 erkennbar ist, sind bei Pferden und Zebras Augen, Maul und Zwischenschenkelregionen thermische Fenster, über die exzessive Wärme gezielt an die Umgebung abgegeben werden kann. Die restliche Körperoberfläche zeigt eine mehr oder weniger gleichmäßige Wärmeabstrahlung. GHIAFIR *et al.* (1995) stellten fest, daß Training die Oberflächentemperatur eines Pferdes beeinflusst. Das trainierte Pferd zeigt früher als ein untrainiertes eine intensivere Hautdurchblutung und eine damit verbundene höhere Oberflächentemperatur. HODGSON *et al.* (1994) beobachteten auch beim Pferd eine passive obligatorische Heterothermie, wenn bei hohen Umgebungstemperaturen trainiert wurde. Bei einem gut trainierten und getränkten Tier konnten bis zu 66 % der anfallenden Stoffwechselwärme über den Schwitzmechanismus mittels der Produktion von bis zu 10 L Schweiß pro Stunde abgegeben werden. Die restlichen 34 % mußten gespeichert werden. Schlecht trainierte Pferde gerieten hingegen bei kontinuierlichem Training bei hohen Umgebungstemperaturen nahe an einen Hitzestau und damit in Lebensgefahr (HODGSON *et al.* 1994).

Bei den drei dargestellten Zebraarten (Abb. 40-42) läßt sich die Schwarz-Weiß-Streifung im Thermogramm erkennen. Die Skizze neben der Abbildung zeigt die gleiche Tierart in Realansicht. Die breite Streifung des Steppenzebras (*Equus burchelli*) war, bei wärmeren Temperaturen und Sonnenschein thermographisch gut zu sehen. Die Temperaturdifferenzen zwischen wärmeren schwarzen und kühleren weißen Streifen betrugen maximal 7,3 °C und durchschnittlich 5,4 °C (Abb. 40). Dies bestätigen auch

CENA & CLARK (1973a), die sogar Differenzen von bis zu 9 °C messen konnten. Die schmaleren Streifen des Berg- (*Equus zebra*) und Grevy-Zebras (*Equus grevyi*) war bei kühlen Temperaturen und geringer Sonneneinstrahlung kaum sichtbar (Abb. 41-42). Bei höheren Umgebungstemperaturen und Sonneneinstrahlung könnte die Fellstreifung der Steppenzebras eine thermoregulierende Funktion haben. Dies gilt vermutlich in geringerem Maße auch für Grevy- und Bergzebras. Der Einfluß der Fellfarbe wird anhand weiterer Untersuchungen im Abschnitt „Giraffen“ (s. Seite 68ff.) diskutiert.

In den vorliegenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß das Grevy-Zebra, als Wüstentier der heißen Samburo-Region Ostafrikas, bei winterlichen Temperaturen schlecht gegen Wärmeverlust isoliert war (Abb. 42). Über den gesamten Körper strahlte es intensiv Wärme ab, noch vermehrt über Hals und Kopf. Lediglich über die distalen Beinregionen mit Ausnahme der Hufe war die Abstrahlung vermindert. Auf Grund dieser Erkenntnisse muß gesagt werden, daß Grevy-Zebras in einem Zoo im Winter rechtzeitig in den Stall eingebracht werden sollten, um Erkältungen etc. vorzubeugen. Die anderen untersuchten Zebraarten leben in Klimaregionen, in denen es nachts kalt werden kann (LOW & REBELO 1998). Sie sind daher entwicklungsgeschichtlich besser an schwankende Temperaturen angepaßt.

Tapire und Nashörner

Tapire und Nashörner ließen bei einer Umgebungstemperatur von ca. 5 °C eine vergleichbar starke Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper erkennen (Abb. 43-46). Der Flachlandtapir (*Tapirus terrestris*) zeigte bei kalten Umgebungstemperaturen die stärkste Wärmeabstrahlung über Kopf und Augen (Abb. 43). Das traf auch bei höheren Umgebungstemperaturen noch zu (PHILLIPS 1992). Nur die Füße waren bei kühlen Umgebungstemperaturen stark in ihrer Abstrahlung reduziert. Bei 18 °C fand PHILLIPS (1992) leicht kühlere Füße als bei 16 °C und 22 °C. Bei 18 °C schien die Umgebungstemperatur optimal, bei 16 °C und 22 °C war sie zu kalt bzw. zu warm, so daß jeweils die Durchblutung der Beine erhöht wurde, um ein Auskühlen zu vermeiden bzw. die Abgabe von Wärme zu forcieren. Die Abstrahlung bei höheren Umgebungstemperaturen war stärker als bei niedrigeren. Bei tiefen Temperaturen wurde offenbar die Durchblutung reduziert, um Energie zu sparen und den Wärmeverlust einzudämmen, ähnlich wie beim Menschen (PFLUMM 1989) (s. Seite 14).

Bei allen drei Nashornarten, Breitmaul-, Spitzmaul- (*Diceros bicornis*) und Panzernashorn (*Rhinoceros unicornis*), waren die Hautfalten im Thermogramm gut erkennbar, und zwar unabhängig davon, ob bei niedrigen oder höheren Umgebungstemperaturen untersucht wurde (Abb. 44-46). Am geringsten sichtbar waren die Hautfalten bei Spitzmaulnashörnern. Sie verzeichnen die glatteste Haut aller drei Vertreter (Abb. 45 und 51-52). Beim Spitzmaulnashorn war die Wärmeabstrahlung bei 4 °C Umgebungstemperatur ähnlich stark wie PHILLIPS (1992) sie bei 18 °C gemessen hatte. Der Wärmeverlust bei Spitzmaul- und Panzernashorn war bei kalter Temperatur (4 °C) groß. Das kann an der schlechten Adaptationsfähigkeit liegen, da die Tiere bei kühlen Temperaturen immer im Haus blieben. Über dem linken Hinterschenkel war eine vermehrte Wärmeabstrahlung erkennbar, die von der Laufaktivität des Tieres herrührte, aber auch auf eine beginnende entzündliche Veränderung im Kniegelenk hinweisen könnte (Abb. 45). Eine klinische Lahmheit war noch nicht festgestellt worden. Ein Fall einer Kniegelenkentzündung mit klinischer Lahmheit beim Spitzmaulnashorn ist in Abbildung 209 im Kapitel „Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie“ dar-

gestellt. Eine Erhöhung der Temperatur über aktiven Muskeln wurde bei Tier und Mensch gezielt nachgewiesen (CLARK *et al.* 1977, PERGOLA *et al.* 1996, LANCESTER *et al.* 1997, WARD *et al.* 1999). Beim Panzernashorn zeigten der Rücken, die Hornschilde der Brust und des Halses sowie die Hornfalten an Hals und Kopf eine geringere Abstrahlung als z.B. die Beine und der Unterbauch (Abb. 46). BENEDICT *et al.* (1921) fanden bei einem Spitzmaulnashorn leicht kühlere Oberflächentemperaturen am Rücken als an den Körperseiten. Das konnte hier nicht bestätigt werden, hing aber sicherlich mit der Aktivität des Tieres zusammen. Bei Nashörnern traten die Hornbasis, die Oberlippe und die Augenregion in kalten Umgebungstemperaturen deutlich als Wärmefenster hervor (Abb. 45-46). Auch die Innenschenkel (Abb. 45) und die Vertiefungen zwischen den Hautfalten des Halses (Abb. 46) dienten als Wärmefenster. Bei warmen Temperaturen waren Wärmefenster kaum zu erkennen (Abb. 47). Nashörner werden in Zoos normalerweise in geheizten Tierhäusern gehalten, so daß sie an kalte Temperaturen nicht angepaßt sind. Spitz- und Breitmaulnashörner können jedoch in Südafrika in Regionen überleben, in denen die Temperaturen im Winter auch unter 0 °C absinken (LOW & REBELO 1998). Dort adaptieren sie sich im Laufe des Jahres langsam an tiefere Umgebungstemperaturen. Bei hohen Temperaturen hingegen steigt die Körperkerntemperatur der Breitmaulnashörner tagsüber langsam an. Nachts kann überschüssige Wärme abgegeben bzw. genutzt werden (ALLBROOK *et al.* 1958). Ähnliches wurde auch bei Spitzmaulnashörnern nachgewiesen (BLEIGH & HARTHOORN 1965, HILEY 1977, LANGMAN 1983). Breit- und Spitzmaulnashörner zeigen also unter bestimmten Umweltbedingungen auch eine passive obligatorische Heterothermie. Das hohe Körpergewicht und das damit verbundene geringe Verhältnis von Volumen zu Oberfläche der Nashörner ermöglicht eine stark ausgeprägte thermische Inertia. Darunter versteht man, daß eine kleine Oberfläche im Verhältnis zum Körpervolumen sowohl eine geringere Wärmeabgabe nach außen als auch eine geringere Wärmeaufnahme von außen zur Folge haben. Große Tiere heizen sich daher nicht so schnell auf wie kleinere mit einer größeren Oberfläche bei kleinerem Volumen (LOUW 1993).

LANGMAN (1983) stellt die Frage, wie denn Neugeborene und Jungtiere Wärme- bzw. Kältebelastungen verarbeiten können, da sie ein ungünstiges Oberflächen-Volumen-Verhältnis haben. Dazu konnten hier erste Ergebnisse gewonnen werden. Die Überwachung eines neugeborenen Spitzmaulnashorns (Abb. 47-50) machte die Thermoregulation dieses Tieres während der ersten Lebenswochen deutlich. Am 1. Lebenstag war die Wärmeabstrahlung des Neugeborenen gegenüber der seiner Mutter um 6 °C höher. Ein anderes Nashornjungtier war im Alter von zwei Wochen noch 5 °C wärmer als seine Mutter (Abb. 131). Diese Differenz wurde noch bis zum Alter von vier Wochen beobachtet (Abb. 48-49). Mit 10 Wochen lag die Differenz bei 3 °C. Diese Bilder lassen erkennen, daß das Neugeborene langsam eine isolierende Fettschicht aufbaute, die in der Thermoregulation entsprechend wirksam wurde. Wann das Jungtier vollständig thermoregulieren kann, ist bisher nicht untersucht. Zunächst ist es massiv durch Unterkühlung oder Überhitzung gefährdet, da äußere Einflüsse solange direkt wirken können, bis eine Isolationsschicht aufgebaut ist. Der von LANGMAN (1983) angesprochenen Möglichkeit der Überhitzung im natürlichen Lebensraum muß das Jungtier demnach wahrscheinlich über das Verhalten entgegenwirken. Von Beobachtungen im Ngorongoro Krater, Tansania, ist bekannt, daß sich Mütter mit Neugeborenen mindestens für 4 Wochen in die bewaldeten Regionen am Kraterrand zurückziehen und erst dann ins Freie kommen (BORNER 2000). Der Aufenthalt im Schatten könnte eine Lösung des Problems der Überhitzung des Jungtieres in den ersten Lebenswochen sein. Ein Ende April 2000 geborenes Breitmaulnashorn verstarb kurze Zeit nach der Geburt. Die Ob-

duktion ergab keine Anzeichen für eine Erkrankung. Die Witterungsbedingungen in den Tagen um die Geburt waren äußerst kühl und naß, was für Südafrika sehr ungewöhnlich war. Mitarbeiter der Institution vermuteten daher einen Zusammenhang mit dem Klima (ESPIE 2000). Nach den hier dargestellten Ergebnissen scheint ein Zusammenhang wahrscheinlich. Folgende Beispiele geben dafür weitere Hinweise. Juvenile Okapis (*Okapia johnstoni*) brauchten 51 bis 60 Tage, bis sie effektiv thermoregulieren konnten (BENNETT & LINDSEY 1992). „Frühchen“ beim Menschen waren am meisten durch das Unvermögen gefährdet, auf kühle Umgebungstemperaturen mit Vasokonstriktion und Eindämmung des Wärmeverlustes zu reagieren. Bei ihnen bestand die Gefahr der Unterkühlung (KARLSSON *et al.* 1996). Jungtiere des Südlichen See-Elefanten verloren auf dem Eis so viel Wärme, daß sie es schmolzen und dann nachts daran festfroren und starben (KRUMBIEGEL 1953/55). Von juvenilen Kegelrobben (*Halichoerus grypus*) weiß man, daß sie erst im Alter von sieben Monaten eine ausgeglichene Thermoregulation aufweisen (BOILY & LAVIGNE 1996).

Wie die Thermogramme von der Paarung oder der Paarungsgemeinschaft der Spitz- und Breitmaulnashörner (Abb. 51-53) demonstrieren, strahlten männliche Tiere mehr Wärme über ihren gesamten Körper ab als weibliche. Beim Spitzmaulnashorn war eine Differenz von 6 °C, beim Breitmaulnashorn von knapp 3 °C meßbar. Als Ursache werden die mit dem Deckakt verbundene vermehrte Aktivität wie auch hormonelle Einwirkungen gesehen. Beim Menschen lösten beispielsweise hohe Blut-Katecholamin-Spiegel eine Hyperthermie mit Vasokonstriktion der Haut aus (MORA-RODRIGUEZ *et al.* 1996). Allgemein bewirken Katecholamine eine Erhöhung von Herzzeitvolumen und Blutdruck. Damit kann den Skelettmuskeln bei Aktivität vermehrt Energie und Sauerstoff zugeführt werden (SILBERNAGEL & DESPOPOULOS 1991). Beim Elefanten waren Katecholamine vermutlich die Auslöser der Vasodilatation der Ohren bei Erregung in Streßsituationen (siehe Abschnitt „Elefanten“, Seite 58). Hyperthermie beeinflußt ihrerseits die Thermorezeptoren und veranlaßt den Körper zur gezielten Thermoregulation und Abgabe der vermehrten Wärme nach außen (SILBERNAGEL & DESPOPOULOS 1991). Der Paarungsreflex führte des weiteren über die Wirkung der Androgene zu einem erhöhten Erregungszustand beim männlichen Tier (TÖPFER-PETERSEN & AURICH 2000). Eine erhöhte Aktivität führt zur Erhöhung der Oberflächentemperatur über den aktiven Muskeln (CLARK *et al.* 1977). In freier Wildbahn konnte dieses Phänomen der Erhöhung der Körperoberflächen-Temperatur während der Paarung inzwischen auch bei mehreren Löwen beobachtet werden (siehe Kapitel 8).

Rinderartige

Die Thermogramme von Rinderartigen (Abb. 54-55) zeigen, daß der Nordamerikanische Präriebison (*Bison bison bison*) gegenüber dem Europäischen Wisent (*Bison bonasus*) besser isoliert war, was auch hier mit dem geographischen Vorkommen der Tiere erklärt werden kann. Der Präriebison muß über weite Teile des Jahres in der offenen Prärie in Schnee und Eisregionen überleben. Der Europäische Wisent ist eher ein Waldtier. Im Wald herrscht ein anderes Klima mit weniger Wind (BÜRGER *et al.* 1980). Bei den Bullen beider Tierarten wirkte die Mähne an Kopf, Hals und Schulter stark isolierend gegenüber dem restlichen Körper. Bei Kühen fiel dies nicht so stark oder gar nicht ins Gewicht. Der Einfluß der Mähne stellte sich auch bei anderen Tierarten ähnlich dar, z.B. bei Löwen (Abb. 84-85) und Mantelpavianen (Abb. 89-90). Meines Erachtens sind die hier vorgestellten Untersuchungen die ersten dieser Art zum Einfluß der Mähne männlicher Tiere auf die Thermoregulation bei Wildtieren. PHILLIPS (1992) diskutiert den Einfluß des Sexualdimorphismus auf die Thermoregulation

nicht, obwohl der Sexualdimorphismus in der Thermoregulation beim Bison in den Rohdaten ihrer Dissertation erkennbar ist. Durch die stärker ausgeprägte Mähne sollten bei Bullen insgesamt andere Körperoberflächen-Temperaturen gemessen werden als bei Kühen, da längere Haare stärker isolieren als kürzere (HAMMEL 1955). In der vorliegenden Arbeit wurden Temperaturdifferenzen bis zu 5 °C zwischen Mähnenregion und Hinterleib bei verschiedenen Tierarten gemessen. Wie die dargestellten Thermogramme vermuten lassen, bedeutet die bei Bullen stärker ausgeprägte Mähne bei kleinerem Volumen-zu-Oberflächen-Verhältnis für die Thermoregulation bei Hitze ein Handikap und ist somit mit hohen Kosten im Energiehaushalt verbunden. In kalten Klimazonen könnte die Mähne Energie sparen, da sie besser isoliert. Die Frage nach der Funktion der Mähne bei Männchen wird in der Verhaltensbiologie schon lange gestellt. Neue Fragen und Antworten hierzu werden im Abschnitt „Katzen- und Hundartige“ (Seite 72) und im Kapitel 8 behandelt.

Kaffernbüffel (Abb. 56) ließen unter ähnlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen andere Wärmeabgabemuster erkennen als Bison und Wisent. Ersterer zeigt eine starke Wärmeabstrahlung über Kopf und Körper. Über den Hals hingegen war sie beim männlichen Tier etwas vermindert. Kaffernbüffel leben in afrikanischen Steppen- und Buschregionen, wo die durchschnittlichen Temperaturen höher sind (LOW & REBELO 1998) als bei Bison und Wisent in temperierten Klimazonen. BLEIGH & HARTHOORN (1965) fanden beim Kaffernbüffel eine ähnlich stark ausgeprägte passive obligatorische Heterothermie wie beim Kamel, was auf eine gute Anpassung an heiße Umgebungstemperaturen hinweist. Nach LANGMAN (1983) sollte jedes Säugetier über 1000 kg eine passive obligatorische Heterothermie zeigen. Für Bison und Wisent wurde dieses Phänomen noch nicht untersucht. Wie Abbildung 56 zeigt, war der Kaffernbüffel schlecht an kalte Umgebungstemperaturen angepaßt. In einer temperierten Umgebung von 22 °C zeigte er, wie viele andere Tierarten auch, keine Heterothermie. In einer simulierten Wüste in einer Klimakammer mit 12 Stunden bei 40 °C hingegen war sie deutlich nachweisbar (TAYLOR 1970a). Selbst im dehydrierten Zustand bei Umgebungstemperaturen von 45 °C stieg die Rektaltemperatur des Kaffernbüffels im Gegensatz zu denen einiger Antilopenarten nicht über 41 °C. Das deutet darauf hin, daß die Tiere nicht echt wüstenangepaßt sind (TAYLOR 1970b). Leichte Heterothermien wurden auch bei Hausrindern unter Wüstenklima festgestellt (BLEIGH & HARTHOORN 1965, THIAGARAJAN & THOMAS 1992). Nicht-adaptierte Rinder gerieten unter gleichen Bedingungen schnell in lebensbedrohliche Situationen, adaptierte zeigten hingegen entweder Heterothermie oder sogar Homoiothermie bei Temperaturen von 37 °C und ca. 65 % relativer Luftfeuchtigkeit (CARVALHO *et al.* 1995).

Einen interessanten Aspekt der Thermoregulation stellten die Hörner von Kaffernbüffeln im Vergleich zu denen der kälteadaptierten Bisons und Wisente dar. Bei letzteren waren die Hörner der Bullen bei einer Umgebungstemperatur von 2 °C durch starke Durchblutung und Wärmeabstrahlung gekennzeichnet. Beim Kaffernbüffel waren die Hörner bei einer Umgebungstemperatur von 6 °C kühler als der restliche Tierkörper, also nicht vermehrt durchblutet. Beim Wisent betrug der Temperaturunterschied zwischen Hörnern und Mähne 15 °C, beim Wisent sogar 21 °C. Die Oberflächentemperaturen der Hörner der Kaffernbüffel entsprachen denen von Ziegen bei TAYLOR (1966) bei Umgebungstemperaturen von 4-6 °C. Weibliche Europäische Wisente zeigten bei 2 °C die gleichen Temperaturmuster wie die Kaffernbüffel. Bei den Wisent- und Bison-Bullen waren die Oberflächentemperaturen der Hörner wesentlich höher als bei den Kühen. Wegen der starken Isolation durch die Mähne mußte die Wärme beim Bullen

anderswo abgegeben werden, z.B. über die Hörner. Die hohe Vaskularisierung der proximalen Hornabschnitte prädestiniert diese Organe für einen gezielten Einsatz zur Thermoregulation. Bei Ziegen konnte nachgewiesen werden, daß bei hohen Umgebungstemperaturen das Gehirn mittel der Hörner gekühlt werden konnte (TAYLOR 1966).

Antilopen

Alte Überlieferungen, daß Säugetiere homoiotherm sind und ihre Körpertemperatur immer innerhalb ganz enger Grenzen regulieren, entsprechen nicht mehr den heutigen Kenntnissen. Viele größere Säugetierarten regulieren fakultativ heterotherm, wie bereits in vorangegangenen Abschnitten und im Kapitel „Thermoregulation bei Tieren - Literaturübersicht“ dargelegt. Als Beispiel für variable Körpertemperaturen sei hier die Elenantilope genannt, eine große Antilope der afrikanischen Steppe. Überschüssige Wärme speichert die Elenantilope während des Tages und läßt so ihre Körperkerntemperatur langsam ansteigen (TAYLOR 1969a). Von einer Radiationsbelastung von 1810 cal/cm² (7578 J/cm²) in der Wüstenregion im nördlichen Ostafrika (FINCH 1972a) speichert eine Elenantilope ca. 40 % in ihrem Körper (FINCH 1972b). Diese Wärme wird während der Nacht wieder abgegeben, um so tagsüber den Verbrauch von Wasser zu sparen (TAYLOR 1969a). Auch die Ostafrikanische Oryxantilope setzt als echtes wüstenadaptiertes Tier diese Art der Regulation ein, sogar noch sehr viel ausgeprägter als andere Antilopen (TAYLOR 1970a, 1970b). Im Gegensatz zur Elenantilope brauchte die Oryxantilope in praller Mittagshitze keinen Schatten aufzusuchen und drang selbst in die trockensten Regionen der Wüsten vor (TAYLOR 1969b). Wasserböcke hingegen konnten ohne Wasser keine längere Zeit überleben. Der Ellipsen-Wasserbock (*Kobus ellipsiprymnus ellipsiprymnus*) benötigte bei 25 °C 25 % mehr Wasser als domestizierte Rinder. Bei einer Temperatur von 40 °C verloren Wasserböcke 12 % ihres Körpergewichtes innerhalb von 12 Stunden, wobei sich ihr Stoffwechsel nicht an einen Wasserentzug anpaßte (TAYLOR *et al.* 1969). Sie waren demnach nicht wüstenadaptiert und sind in ihrer Verbreitung an Wasservorkommen gebunden.

Ganz anders sah es bei kühlen Umgebungstemperaturen aus. Bei der Elenantilope (Abb. 57) wurde ein von den anderen drei Antilopenarten ganz verschiedenes Wärmemuster sichtbar. Allgemein waren bei Antilopen Augen und Maul die Wärmefenster. Im Gegensatz zur Säbelantilope (*Oryx dammah*), Südafrikanischer Oryxantilope (*Oryx gazella gazella*) und Defassa-Wasserbock (*Kobus ellipsiprymnus defassa*) (Abb. 58-60) hat die Elenantilope ein sehr kurzes Fell. Letztere zeigte im Thermogramm bei tiefen Umgebungstemperaturen starke Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper mit Ausnahme der distalen Beine und Hörner. Die Elenantilope reguliert ihre Körpertemperatur über veränderliche Durchblutung (FINCH 1972b). Bei ca. 3 °C Umgebungstemperatur war ihr eine Reduktion der Oberflächentemperatur aber offenbar nicht mehr möglich. Säbel- und Oryxantilope sowie Wasserbock strahlten weniger Wärme ab. Auch bei ihnen waren Hörner und distale Beine kühler als der restliche Körper. Säbel- und Oryxantilopen sind Bewohner von Wüsten, in denen es sehr kalt werden kann. Elenantilopen meiden Wüsten, können aber im südlichen bis östlichen Afrika in Regionen bis zu 4600 m Höhe vorkommen (ESTES 1991). Danach sollte erwartet werden, daß die Tiere sich an kühle Temperaturen gewöhnen könnten. Da das bei dem hier abgebildeten Tier nicht der Fall war, muß angenommen werden, daß dieser Umstand mit den Haltungsbedingungen im Zoo zu erklären ist. Tiere, die nicht an Kälte adaptiert sind, haben einen viel höheren Sauerstoff- und Nährstoffverbrauch als adaptierte, da sie sich mittels Kältezitern warm halten müssen (TAYLOR & SALE 1969, HÖRNICKE 1987, JESSEN 2000). Oryx- und Säbelantilopen sowie Wasserböcke haben ein längeres Fell als Elenantilopen

und somit eine geringere Wärmeabstrahlung auch ohne Adaptation (HAMMEL 1955, PFLUMM 1989). Alle ein Fell-tragende Säugetiere sind auf Grund ihres Fells an Kälte angepaßt. Nur der untere kritische Temperaturpunkt ist verschieden für arktische und tropische Arten (SCHOLANDER *et al.* 1950a). Bei den vier dargestellten Antilopenarten war die Elenantilope eindeutig am schlechtesten kälteadaptiert, was bei der Haltung dieser Tiere mit beachtet werden sollte.

Giraffen

Die zyklische Temperaturschwankung im Körperkern homoiothermer Säugetiere während eines Tages wurde erstmals bei Giraffen als „passive obligatorische Heterothermie“ bezeichnet (LANGMAN & MALOIJ 1989). Der zirkadiane Temperaturrehythmus war schon länger von anderen Tierarten bekannt, z.B. von Dromedaren (SCHMIDT-NIELSEN *et al.* 1957), Breitmaulnashörnern (ALBROOK *et al.* 1958) und Kaffernbüffeln (BLIGH & HARTHOORN 1965). SCHMIDT-NIELSEN *et al.* (1957) konnten in ihrer Arbeit erstmals beweisen, daß die Heterothermie ein Energie- und Wassersparmechanismus bei Tieren darstellt und demnach für die Hitzeadaptation von großer Wichtigkeit ist. Nach Untersuchungen über die Effektivität der Wasserkonservierung in der Ausatemluft bei Giraffen (LANGMAN *et al.* 1979) gelangten LANGMAN *et al.* (1982) zur Erkenntnis, daß Giraffen ihre Körperkerntemperatur unter bestimmten Bedingungen nicht konstant halten. LANGMAN (1983) kam schließlich zu dem Schluß, daß eine passive obligatorische Heterothermie bei allen Säugetieren über 1000 kg zu erwarten ist. Bei vielen leichteren Tierarten wurde der Mechanismus ebenfalls nachgewiesen, wie schon dargelegt. Giraffen sind auf Grund dieses Mechanismus gut an Hitze angepaßt. Für Okapis liegen keine Untersuchungen vor. Bei Temperaturen von 16 bis 33 °C strahlten Okapis mehr Wärme ab als Giraffen (PHILLIPS 1992). Die hier dargestellten Thermogramme zeigten eine vergleichbare Wärmeabstrahlung beider Tierarten bei tiefen, leicht unterschiedlichen Umgebungstemperaturen (Abb. 61-62). Bei kühlen Temperaturen strahlten diese Tiere vermehrt Wärme über Hals und Kopf ab, vermindert über die Beine. Beide Tierarten haben ein ähnlich kurzes Fell.

Ein Unterschied beider Tierarten lag in der Darstellbarkeit der Fellzeichnung. Bei der Giraffe war sie nach Aufheizen durch die Sonne auch über eine große Distanz noch sichtbar. Beim Okapi hingegen konnte die Fellzeichnung im Thermogramm bisher nicht dargestellt werden. (Abb. 170-174). Zuerst wurde das Phänomen der Darstellung der Fellzeichnung bei Giraffen von CENA & CLARK (1973b) beschrieben und später von PHILLIPS (1992) bestätigt. CENA & CLARK (1973b) fanden Temperaturdifferenzen von 6 °C zwischen den wärmeren dunklen und den kälteren hellen Flecken, PHILLIPS (1992) dagegen nur 2,5 - 3,5 °C. In der Literatur herrscht Uneinigkeit darüber, ob die Fellzeichnung im Schatten und an bewölkten Tagen thermographisch sichtbar ist, was PHILLIPS (1992) berichtet, CENA & CLARK (1973b) aber bestreiten. Nach eigenen Beobachtungen haben die drei Autoren jeweils teilweise recht: Unter praller Sonne bei mittleren bis höheren Umgebungstemperaturen heizen sich die dunklen Flecken stärker auf als die hellen und speichern diese Wärme. Treten dann Wolken auf, so daß das Tier im Schatten steht, ist die Fellzeichnung so lange im Infrarot-Bild sichtbar, wie die Fellareale gespeicherte Wärme abgeben können. Normalerweise tritt die Fellzeichnung bei Tieren im Stall nur dann auf, wenn sie gerade von der Außenanlage ins Haus geholt wurden und noch nicht adaptiert sind (Abb. 170-171). Gelegentlich war aber auch eine Fellzeichnung im Infrarot-Bild zu beobachten, wenn vorher eindeutig keine Sonneneinstrahlung eingewirkt haben konnte, da die Tiere sich mindestens zehn Stunden im Stall aufgehalten hatten. Die Fellzeichnung trat auch nicht bei allen untersuchten Tieren im

Thermogramm auf. Dieses Phänomen muß also eine „innere“ Ursache haben. Bei Sektionen an Giraffen fand LANGMAN (pers. Komm. 1992: zitiert in PHILLIPS 1992), daß unter den Fellabschnitten mit dunkler Farbe mehr, und unter solchen mit heller Farbe weniger Blutgefäße zu finden sind. MITCHELL (2000) bestätigt dies in eigenen Untersuchungen. Vermutlich wird durch die Aufheizung in praller Sonne eine effektive Thermoregulation geschaffen, wenn unter der Haut mit vermehrter Infrarot-Absorption (dunkles Fell) mehr Blutgefäße lokalisiert sind. Über dunkles Fell wird zwar vermehrt Wärme aus der Umgebung aufgenommen, kann aber auch vermehrt Wärme abgegeben werden.

Die Fellfarbe hat bei der Absorption von direkten Sonnenstrahlen einen großen Einfluß auf die Menge der absorbierten oder reflektierten Strahlen (LOUW 1993). Dunkles Fell absorbierte verstärkt direkte Sonnenstrahlen (kurzwelliges Infrarot), helles Fell reflektierte sie (WALSBERG *et al.* 1978, WALSBERG 1983). Dies gilt jedoch nicht für aus der Umwelt reflektierte langwellige Infrarot-Strahlung (LOUW 1993). Verschiedene Untersucher haben den Einfluß der einheitlichen Fellfarbe auf die Wärmebalance bei Haustieren beschrieben (RIEMERSCHMID & ELDER 1945, STEWARD 1953, DAWSON & BROWN 1970, FINCH 1972b). Erste Untersuchungen bei schwarz-weißen Rindern und Schafen stellten CENA (1966) sowie CLARK & CENA (1972) vor. Sie fanden Temperaturdifferenzen zwischen 4 und 9 °C zwischen schwarzen und weißen Fellregionen. Ähnliches galt auch für Zebras (s. Seite 62ff.). WALSBERG (1983) konnte nachweisen, daß weiße Tauben mehr durch langwelliges Infrarot aufgeheizt werden als schwarze. Weiße Federn reflektierten besser bei Windgeschwindigkeiten unter 4 m/s, nicht jedoch bei höherer Geschwindigkeit (WAHLBERG *et al.* 1978). Da die dunklen Flecken bei Giraffen aber nicht nur bei Sonnenschein vermehrt Wärme aufnehmen und abstrahlen, sondern auch ohne Sonne hervortreten können, scheinen sie als gezielte Thermalfenster eingesetzt zu werden (MITCHELL & HILSBURG 2000).

Kamele

Von den fünf untersuchten Kamelarten (Abb. 63-67) ist einzig das Dromedar ein ausgesprochenes Wüstentier. Sein Fell ist im Sommer kurz, im Winter etwas länger, jedoch selbst im Winter nicht so lang wie das des Trampeltiers (*Camelus ferus*) oder der süd-amerikanischen Kamele. Hals, Unterbauch und proximale Beinabschnitte stellten sich beim Dromedar als starke Wärmefenster dar. Auch bei den anderen Kamelarten war eine vermehrte Wärmeabstrahlung über die Innenseiten der Beine sichtbar. Sie fungierten als Wärmefenster. Für das Guanako wurde dieses Phänomen schon von DeLAMO & HEATH (1985) und DeLAMO (1989) beschrieben. Um die Wärmeabstrahlung der Beine, des Unterbauchs, der Schenkelspalten und des Unterhalses einzudämmen, nutzen diese Tiere entsprechende Verhaltensweisen. Das abgebildete Vikunja (*Lama vicugna*) (Abb. 65) demonstrierte dies: Während der Untersuchung lag es mit angewinkelten Beinen so auf dem Boden, daß nur noch über Kopf bzw. Maul, Augen und Ohren vermehrt Wärme abgestrahlt wurde. Somit dichtete das Vikunja die anderen Wärmefenster weitestgehend ab. Wärme wurde in kalter Umgebung durch Verhaltensänderung konserviert. Diese Verhaltensweise wird auch von PFLUMM (1989) beschrieben, hier aber erstmals unter stressfreien Untersuchungsbedingungen dargestellt.

Das Dromedar als Wüstentier erweckt schon lange das Interesse der Physiologen. Das Dromedar hat eine ungewöhnlich hohe Toleranzgrenze für Dehydratation und Temperaturschwankungen im Körperkern entwickelt. Es bietet also ein klassisches Beispiel für

eine passive obligatorische Heterothermie. Die Heterothermie wird vom Dromedar hauptsächlich bei Wassermangel eingesetzt und erreicht dann größere Ausmaße. Dromedare nutzen auch kaltes Trinkwasser, um ihre Körpertemperatur abzusenken (SCHMIDT-NIELSEN *et al.* 1957). Eine Untersuchung über die Hautstruktur im Höcker des Dromedars ergab, daß die Dichte der Blutgefäße in lockerem Bindegewebe hoch ist. Die Haut des Höckers war dicker als anderswo am Körper. Schweißdrüsen lagen tief in sie eingebettet (GOSWAMI *et al.* 1993). Im Thermogramm stellte der Höcker des Dromedars die kühlsste Region des Tierkörpers dar (Abb. 64). Die anatomischen und thermophysiologischen Befunde lassen vermuten, daß der Höcker eine wichtige Rolle bei der Wärmespeicherung und –abgabe unter Wüstenverhältnissen spielen könnte. Beim Dromedar hat auch die Nase in der Thermoregulation eine wichtige Rolle, da mit ihrer Hilfe das Gehirn gekühlt werden kann (SCHROTER *et al.* 1989). Beides sollte in Zukunft durch gezielte Experimente mittel Infrarot-Thermographie überprüft werden.

Die Abbildungen 66-67 zeigen südamerikanische Kamele in ihrer Wildform: Guanako und in der Haustierform: Lama (*Lama guanicoe glama*). Es fiel auf, daß das Lama mehr Wärme über die Beine und Innenschenkel abstrahlte als das Guanako. Hier könnte zum einen die unterschiedliche Körpergröße, zum anderen der langfristige Einfluß der gezielten Züchtung einen direkten Einfluß auf die Fähigkeit zur Temperaturregulation genommen haben. Um dieses zu bestätigen, müssen weitere vergleichende Untersuchungen durchgeführt werden. Die in dieser Arbeit gemessenen Temperaturwerte beim Guanako und Trampeltier ergänzen die Werte aus den Reihenuntersuchungen von DeLAMO (1989) und PHILLIPS (1992) und bestätigten deren Ergebnisse.

Hirsche

An neun verschiedenen Hirscharten (Abb.68-76) konnten unterschiedliche Mechanismen der Temperaturregulation dargestellt werden. Das erwachsene Männchen des Chinesischen Muntjaks (*Muntiacus muntjak reevesi*) (Abb. 68) strahlte weniger Wärme ab als das Jungtier. Bei beiden Tieren waren die distalen Beinabschnitte an die Umgebungstemperatur angepaßt. Der Kopf einschließlich der Augen war jeweils das stärkste Wärmefenster. Beim Damhirsch (*Dama dama*), Davidshirsch (*Elaphurus davidianus*), Barasingahirsch (*Cervus duvauceli*), Sikahirsch (*Cervus nippon*) und Pudu (*Pudu pudu*) (Abb. 69, 70, 73, 74, 75) waren die Infrarot-Thermogramme ähnlich. Dam-, Barasinga- und Sikahirschen zeigten kühlere Beine als Körper. Ähnliches fand PHILLIPS (1992) bei anderen Hirscharten. Beim Davidshirsch (Abb. 70) stellten auch die Außenseiten der Beine Wärmefenster dar, über die eine starke Abstrahlung erfolgt. Für dieses Phänomen gibt es z.Z. noch keine Erklärung, da das Tier äußerlich einen gesunden und intakten Eindruck machte und Wärmefenster sonst immer an den Innenseiten der Beine zu suchen sind, nicht aber außen. Es könnten bei diesem Tier eine Anomalie oder innere Verletzungen durch Anschlagen der Beine vorgelegen haben, was abgeklärt werden müßte. Auch bei einem der Pudus (Abb. 75) wurde an einem Bein eine erhöhte Wärmeabstrahlung gemessen. Eine nähere Untersuchung war nicht möglich, hätte aber sicherlich eine pathologische Veränderung, z.B. eine Verletzung aufgedeckt.

Prinz-Alfred-Hirsch (*Cervus mariannus alfredi*) und Sambarhirsch (*Cervus unicorn*) (Abb. 71-72) zeigten andere Temperaturmuster als die restlichen Hirscharten. Bei beiden war die Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper sehr stark, beim Prinz-Alfred-Hirsch besonders über den Hals. Diese beiden Hirscharten sind Bewohner tropischer Regenwälder Asiens (COX 1987, PUSCHMAN 1989). Sie haben dem Anschein

nach im Laufe der Evolution keine ausgeprägte Adaptation an kalte Temperaturen erfahren und fielen daher in ihrem Thermoprofil auf. Sowohl beim Davids- als auch beim Prinz-Alfred-Hirsch wurden die Geweihe stark durchblutet. Bei ersterem zeigte das Geweih noch Bast. Durch die starke Durchblutung entstand ein hoher Wärmeverlust bzw. ein Wärmefenster. Die starke Wärmeabstrahlung über Geweihe im Bast wurde auch von PHILLIPS (1992) beschrieben. Das Geweih des Prinz-Alfred-Hirsches war nicht mehr im Bast, aber, nach seiner Oberfläche zu urteilen, erst kürzlich gefegt worden. Die hohe Abstrahlung war unerklärlich.

Weitestgehend gegen Wärmeverlust über den Körper isoliert war das Ren (*Rangifer tarandus*) (Abb. 76), was auch andere Arbeiten bestätigen (HAMMEL 1955, IRVING & KROG 1955). Wärmefenster waren an Maul und Augen sichtbar. Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Hirscharten strahlten die Beine mehr Wärme ab als der Körper, was von PHILLIPS (1992) bestätigt wird. Die Untersuchungen von IRVING & KROG (1955) können mit den hier angestellten nicht verglichen werden, da in ihnen die eigentliche Hauttemperatur und nicht die Oberflächentemperatur gemessen wurde. Dort waren die Beine beim Ren kühler als der Körper. Auf die Fehlerhaftigkeit solcher Hautmessungen für das Studium der Thermoregulation bei Tieren haben schon PHILLIPS (1992) und andere ausdrücklich hingewiesen. Die Geweihe beim Ren waren (im November) nicht durch vermehrte Durchblutung gekennzeichnet. Sie waren gefegt und abgestorben. In Abbildung 77 ist ein altes Ren dargestellt, bei dem bereits äußerlich ein schütteres Fell sichtbar war. Im Thermogramm wurde deutlich, wie die starke Wärmeabstrahlung den Stoffwechsel dieses Tieres beanspruchte. Die kalte Umgebungstemperatur könnte zur Unterkühlung und zum Tode führen. Die sonst ausgeprägte Wärmeisolierung des Ren-Fells war verloren.

Bären

Bei sechs untersuchten Bärenarten (Abb. 78-83) konnten drei verschiedene Typen der Thermoregulation unterschieden werden. Am besten isoliert waren Brillenbär (*Tremarctos ornatus*) und Eisbär, am schlechtesten der in den Tropen lebende Malaienbär (*Melarctos malayanus*). Brillen- und Eisbär waren bis auf die Wärmefenster an Schnauze und Augen gegen Wärmeabstrahlung bei kühlen Umgebungstemperaturen isoliert. Die gute Kälteadaptation des Brillenbären bestätigte auch PHILLIPS (1992). Das Fell des Eisbären gilt als Tarnung im Schnee, spielt aber nach HESSE *et al.* (1951) auch eine Rolle in der Thermoregulation. Ein weißes Fell nimmt weniger kurzwelliges Infrarot auf als ein schwarzes, strahlt aber auch weniger ab (HESSE *et al.* 1951). Kurzwelliges Infrarot ist nur im direkten Sonnenlicht vorhanden. Die Abstrahlung von einem Körper oder Tier erfolgt immer als langwelliges Infrarot. LOUW (1993) spekuliert, daß die weißen Haare im Fell des Eisbären die kurzwelligen Infrarot-Strahlen nicht nur reflektieren, sondern auch wie optische Fasern wirken und Sonnenwärme an die Haut weiterleiten. Dadurch könnte der Eisbär Wärme aufnehmen. Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf. Der Malaienbär strahlte über den gesamten Körper Wärme ab, verstärkt über Kopf, Schenkel und Beine. Die Wärmeabgabe lag um etwa 10 °C höher als beim Eisbären. Hier wird erneut der unterschiedliche Einfluß auf die Thermoregulation zwischen tropischen und temperierten geographischen Regionen im Verbreitungsgebiet von Tierarten deutlich. Tropische Regionen erfordern keine besondere Isolierung gegen Kälte (SCHOLANDER *et al.* 1950c). Da der Grundumsatz und die Körperkerntemperatur einer Tierart evolutiv nicht an kalte oder warme Klimaregionen angepaßt, sondern über die Körpermasse festgelegt ist, kann die Thermoregulation nur über Änderungen der Wärmeabstrahlung erfolgen, also über die Isolation durch Fell oder Haut (SCHO-

LANDER *et al.* 1950a). Der Malaienbär hat ein kurzes schwarzes Fell, in dem nur die Grannenhaare ausgebildet sind, jedoch keine Unterwolle. Sein Fell isoliert daher schlecht gegen Kälte. Die anderen Bärenarten sind durch ein langes, dichtes Fell mit Unterwolle geschützt, also an kalte Temperaturen angepaßt.

Beim Kragenbär (*Ursus thibetanus*) (Abb. 79) und beim Lippenbär (*Melursus ursinus*) (Abb. 81) wurde eine mittlere Wärmeabstrahlung beobachtet. Beim Braunbär (*Ursus arctos*) (Abb. 78) zeigte das herumtollende gegenüber dem in der Höhle ruhenden Tier eine um 4,5 °C stärkere Wärmeabstrahlung, was auf die Muskelaktivität zurück geführt werden kann. Die von PHILLIPS (1992) gefundenen Abstrahlungswerte für den Kodiakbär lagen unter denen hier für den Braunbären ermittelten. Kodiakbären sind größer und haben meist ein längeres Fell als andere Braunbärunterarten.

Katzen- und Hundartige

Bei Löwen (*Panthera leo*) (Abb. 84-85) bestanden deutliche Unterschiede in der Thermoregulation bei männlichen verglichen mit weiblichen Tieren bzw. Jungtieren. Das männliche Tier war durch seine ausgeprägte Mähne an Teilen des Kopfes, an Hals und Vorderkörper gut gegen Wärmeverlust geschützt. Entsprechend mußten die anderen Körperabschnitte, insbesondere der Hinterkörper, verstärkt als Orte der Wärmeabgabe fungieren. Löwinnen und Jungtiere gaben Wärme gleichmäßig über den gesamten Körper ab. Ähnliches galt auch für einen laufenden Tiger (Abb. 87). Überraschenderweise war die Halsregion des Tigers durch verminderte Wärmeabgabe gekennzeichnet. Es handelte sich um ein männliches Tier. Ob es bei Tigern Geschlechtsunterschiede in der Thermoregulation gibt, müßte noch über Experimente geklärt werden. Die Geschlechtsunterschiede in der Thermoregulation bei Löwen traten deutlich hervor. Dieses sind m.E. die ersten Untersuchungen dieser Art. Diese hier vorgestellten Bilder gaben Anlaß für eine Untersuchung an freilebenden Löwen in der Serengeti. Erste Ergebnisse werden im Kapitel 8 vorgestellt.

In Abbildung 86 ist ein Tiger (*Panthera tigris*) nachts auf der Außenanlage in seiner Höhle sichtbar. Das Thermogramm zeigt deutlich, wie das Tier mit seiner abstrahlenden Körperwärme die Luft-Temperatur der kleinen Höhle erhöht. Die Konturen der Höhle wurden dadurch im Thermogramm sichtbar. Der Kopf des Tigers war das zentrale Wärmefenster. Andere Fenster waren unsichtbar, da sich das Tier hingelegt hatte.

Abbildung 88 zeigt weiße Wölfe (*Canis lupus*) aus Alaska mit einem sehr dichten Winterfell. Einige der Tiere hoben sich im Thermogramm kaum gegen die Umgebung ab. Bei weißen Wölfen waren Maul, Augen und Ohren sowie die Innen- und evtl. die Außenseite der Beine Wärmefenster. Dieses entspricht den Ergebnissen bei Renen in dieser Arbeit und denen bei Eisfüchsen (*Alopex lagopus*), nicht jedoch denen bei Rotfüchsen (*Vulpes vulpes*) oder Kitfüchsen (*Vulpes macrotis*) in der Arbeit von KLIR & HEATH (1992). KORHONEN & HARRI (1986) fanden bei „Blaufüchsen“ (*Alopex lagopus*) und Marderhunden (*Nyctereutes procyonoides*) Wärmefenster nur in der Gesichtregion und an den Pfoten. Durch Hinlegen können bei Tieren die thermischen Fenster der Beine ausgeschaltet werden (PFLUMM 1989). Juvenile Wölfe zeigten eine stärkere Abstrahlung als Adulte. Bei Juvenilen hatte das Fell eine andere Struktur und Farbe. Die isolierenden Körperschichten der Haut brauchen bei jeder Tierart eine bestimmte Zeit, bis sie komplett ausgebildet sind (KRUMBIEGEL 1953/55, BENNETT & LINDSEY 1992, BOILY & LAVIGNE 1996, KARLSSON *et al.* 1996). Die niedrigeren Werte der adulten Tiere ähnelten denen von PHILLIPS (1992) beim grauen Wolf, nicht

aber denen beim Schlittenhund. Letzterer strahlte an Schulter und Beckengliedmaßen viel Wärme ab (IRVING & KROG 1955). Nach HESSE *et al.* (1951) sollten weiße Tiere weniger Infrarot-Abstrahlung zeigen als graue. Vergleichsuntersuchungen unter unterschiedlichen Umweltbedingungen sollten in Zukunft mittels Infrarot-Thermographie solche Fragen klären.

Primaten

Adulte männliche Mantelpaviane (*Papio hamadryas*) (Abb. 89-90) waren ähnlich wie die männlichen Löwen durch ihre Mähne gegen Wärmeverluste geschützt. Nur die nackten oder dünn behaarten Bereiche des Hinterteils, der Beine sowie des Gesichts fungierten als Wärmefenster. Im Sitzen wurden die Wärmefenster des Hinterteils und des größten Teils der Beine ausgeschaltet, da der „Mantel“ diese Areale verdeckte. Vom nackten Hinterteil ging aber Wärme durch Konduktion an den Untergrund verloren. Für das Ausmaß der Konduktion ist das Material, auf dem das Tier sitzt wichtig, da jedes Material einen materialspezifischen Konduktions-Koeffizienten hat (LOUW 1993). Wie die Thermogramme zeigen, hatte die Mähne bei Pavianen und Löwen neben ihrer Funktion im Verhalten der Tiere, z.B. als Sexuelsymbol oder zum Schutz bei Kämpfen (ESTES 1991), auch eine Bedeutung für die Thermoregulation. Bei jüngeren männlichen Mantelpavianen wurde ein stärkerer Wärmeverlust über die Mähne beobachtet als bei Adulten. Die Mähne war bei ihnen weniger ausgeprägt. Die Werte des Jungtieres ähnelten denen bei Savannenpavianen (*Papio cynocephalus*) in der Arbeit von PHILLIPS (1992). Im Gegensatz zu den Pavianen waren Rotgesichtsmakaken (*Macaca fuscata*) (Abb. 91) durch ihr gleichmäßiges und dichtes Fell entsprechend gut gegen Wärmeverlust isoliert. Sie leben in Regionen mit viel Eis und Schnee im Winter. Der Schnee kann sogar auf diesem Fell liegen bleiben, ohne zu schmelzen (HEINS & SCHULZ 1998). Mantelpaviane hingegen leben in Savannen- und Bergregionen, in denen es kühl werden kann, aber im Winter kein hoher Schnee liegt.

Vögel

Vögel haben eine ähnliche Emission von Infrarot-Strahlung wie Säugetiere. Emissionswerte werden mit 0,96 (BEST & FOWLER 1981) bis 1,0 angegeben (HAMMEL 1956). In der vorliegenden Untersuchung (Abb. 92-100) zeigten Vögel unterschiedliche Muster in ihrer Thermoregulation. Beim großen Laufvogel Strauß (*Struthio camelus*) (Abb. 92) stellten sich bei tiefen Umgebungstemperaturen die Beine sowie Hals und Bürzel als ausgeprägte Wärmefenster dar. Die proximalen Beinabschnitte sind bei ihnen stark bemuskelt. Die distalen Beinregionen können durch geänderte Durchblutung mittels Gegenstrom-Wärmeaustausch in der Wärmeabgabe eingeschränkt werden (IRVING & KROG 1955). Die langen Federn wirkten am Zentralkörper stark isolierend. PHILLIPS & SANDBORN (1994) kamen in ihren Untersuchungen zu anderen Ergebnissen. Der Strauß in ihrer Untersuchung verhielt sich ruhig, der in dieser Studie hingegen war sexuell erregt und zeigte einen intensiven Bewegungsdrang. Die hier gemessenen Wärmeabstrahlungen sind also Werte aus dem Leistungs- und nicht aus dem Ruhestoffwechsel.

Weißstörche (*Ciconia ciconia*), Mandschurenkraniche (*Grus japonensis*) und Rote Flamingos (*Phoenicopterus ruber ruber*) (Abb. 93-95) zeigten bei tiefen Umgebungstemperaturen im Thermogramm kaum eine Abgrenzbarkeit der Beine zur Umgebung. Bei vielen Vögeln ist das Gegenstrom-Wärmeaustauschprinzip an den Beinen gut ausgeprägt, so daß sie den Wärmeverlust minimieren können. An Schwimmhäuten bei Möwen (*Larus glaucescens*) z.B. wurden Temperaturen von 5-0 °C gemessen (IRVING &

KROG 1955). Flamingos (Abb. 95) stellten sich bei kalten Umgebungstemperaturen ins Wasser. Da das Wasser eine wärmere Temperatur hatte als der Boden, konnten die Vögel so die Wärmeverluste über die Beine weiter reduzieren. Ähnliches Verhalten zeigten auch Stockenten (*Anas platyrhynchos*) (Abb. 96). Die Enten schwammen entweder im wärmeren Wasser oder setzten sich an Land auf ihre nackten Füße. Enten sind so gut gegen Wärmeverlust geschützt, daß es bei ihnen nur zwei Thermalfenster gibt: Beine und Schnabel. Enten können zusätzlich noch die Durchblutung des Schnabels gezielt kontrollieren. Wie Experimente zeigten, regulieren sie so effektiv ihre Körpertemperatur (HAGAN & HEATH 1980).

Humboldtpinguine (*Spheniscus humboldti*) (Abb. 97) ließen sich mittels Infrarot-Kamera kaum von ihrer kühlen Umgebung differenzieren. Die Tiere schwammen im Wasser. Nur über Kopf und Augen war eine Wärmeabgabe zu erkennen. Die Wärmeabstrahlung des Pinguin-Körpers mit Federn und Fettschicht ähnelte der der Wassertemperatur. Bei Pinguinen an Land zeichneten sich die Flügel fast immer durch geringere Wärmeabstrahlung als der Körper aus (Abb. 98-100). Bei manchen Pinguinen war die Abstrahlung über den Körper oder die Flügel jedoch erhöht (Abb. 98-100). Auf dem Thermogramm der Brillenpinguine (*Spheniscus demersus*) (Abb. 100) waren bei den Tieren „a“ und „b“ veränderte Thermoprofile sichtbar. Tier „a“ war nicht nur durch höhere Wärmeabstrahlung am Körper, sondern auch durch eine über den linken Flügel gekennzeichnet. Eine ähnlich erhöhte Flügeltemperatur zeigt auch ein Felsenpinguin (*Eudyptes crestatus*) (Abb. 99) und ein Königspinguin (*Aptenodytes patagonica*) (Abb. 98). Diese Befunde wiesen darauf hin, daß eine veränderte und daher wahrscheinlich pathologische Thermoregulation vorlag, deren Ursache ungeklärt blieb. Unsymmetrische Wärmeverteilungen weisen bei Hund und Pferd immer auf ungleiche Belastung oder schon eingetretene pathologische Veränderungen hin (MARR 1992, WALDSMITH 1992, WALDSMITH & OITMANN 1994, HARPER 2000). Die auffälligen Pinguine müßten einer intensiven Untersuchung über die Ursache der einseitigen Profiländerung unterzogen werden. Die hier vorgestellten Thermogramme von Pinguinen sind alle während starker Bewölkung oder im Tierhaus aufgenommen worden. Bei Aufnahmen unter intensiver Sonneneinstrahlung müßte vielleicht auch bei Pinguinen der Einfluß der Federfarbe berücksichtigt werden, in Anlehnung an die Erfahrung bei Zebras und Giraffen (CENA & CLARK 1973b). Hierzu gibt es bei Pinguinen m.E. noch keinerlei Studien.

6.0 Trächtigkeitsuntersuchungen mittels Infrarot-Thermographie

6.1 Ergebnisse - Fallbeispiele

Die Infrarot-Thermographie wurde erstmalig zur Diagnose und Verlaufskontrolle von Trächtigkeiten bei Giraffen im Zoologischen Garten Leipzig, später bei Spitzmaulnashörnern im Zoologischen Garten Berlin und bei Asiatischen Elefanten im Tierpark Berlin-Friedrichsfelde und im Zoo Zürich eingesetzt. Zur Verdeutlichung der Ergebnisse werden die Infrarot-Bilder durch Skizzen ergänzt. Schwerpunkte der Fallbeispiele liegen bei Nashörnern, Elefanten und Giraffen.

Tierart: Spitzmaulnashorn *Diceros bicornis*

Trächtigkeitsverlauf und Puerperium bei einem Spitzmaulnashorn im Zoo Berlin

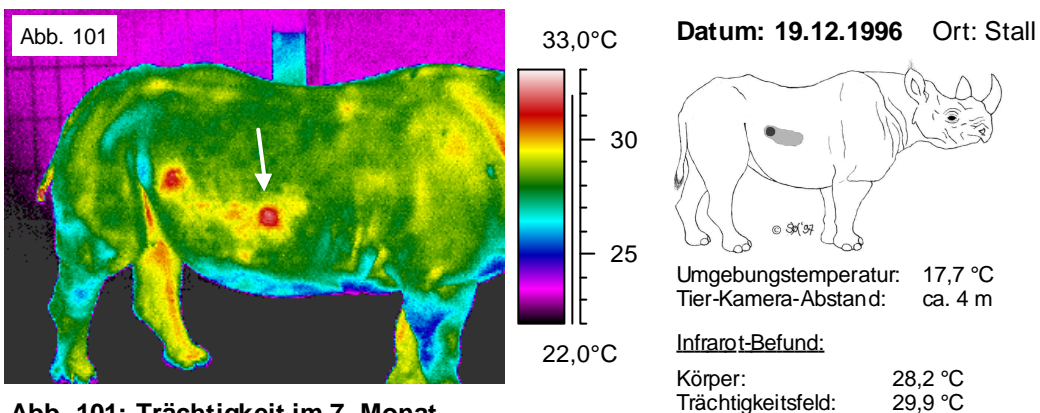


Abb. 101: Trächtigkeit im 7. Monat

Wärmeabstrahlung über Trächtigkeitsfeld 1,7 °C stärker als über den restlichen Körper.
Nebenbefund: Rechtes rotes Wärmefeld: Kleine Hautwunde (weißer Pfeil). Unterbauch: feucht.

Datum: 3.4.1997 Ort: Stall

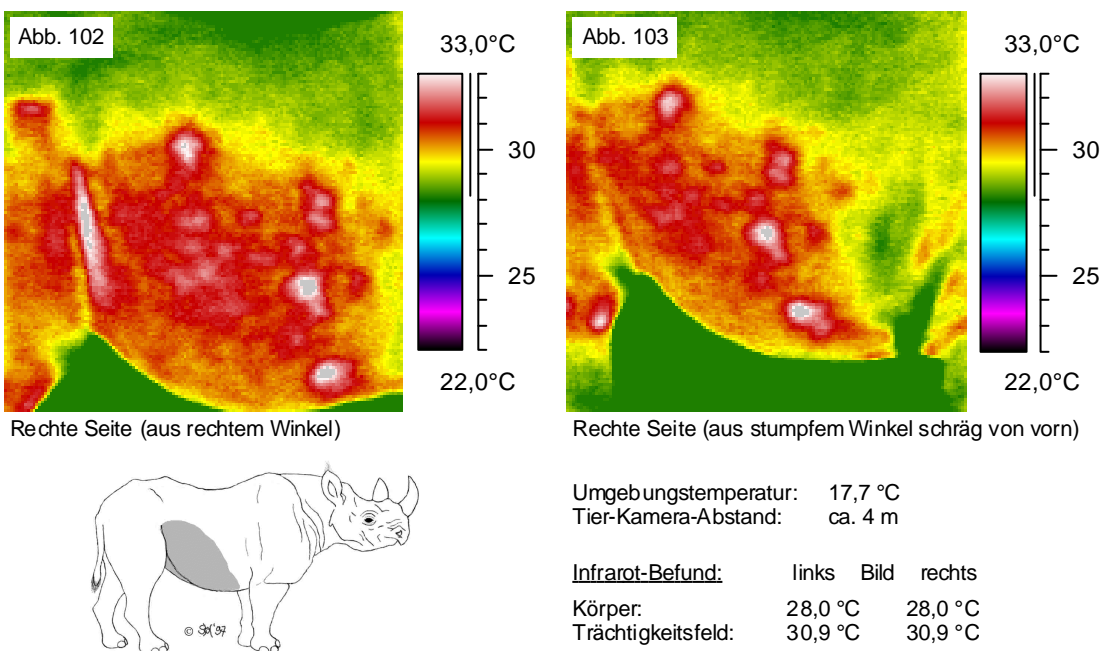


Abb. 102-103: Trächtigkeit im 10. Monat

Wärmeabstrahlung über Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 3,0 °C stärker als über den restlichen Körper (linke Seite des Nashorns ohne besonderen thermographischen Befund).

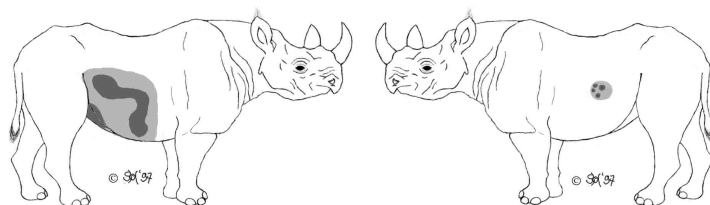
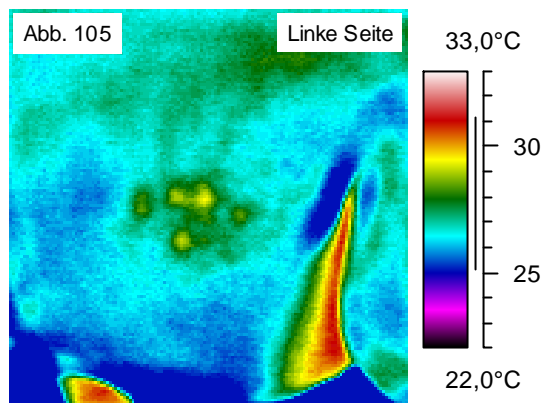
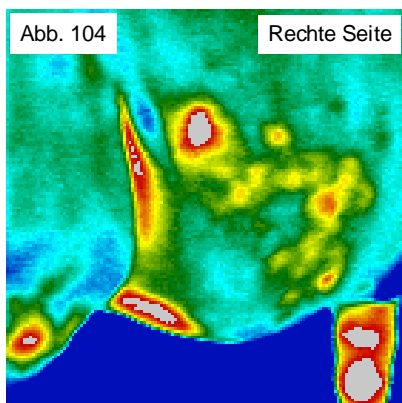
Fortsetzung der Serie

Datum: 19.4.1997

Ort: Stall

Umgebungstemperatur: 17,7 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	26,9 °C	26,0 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,2 °C	28,0 °C

Abb. 104-105: Trächtigkeit im 11. Monat

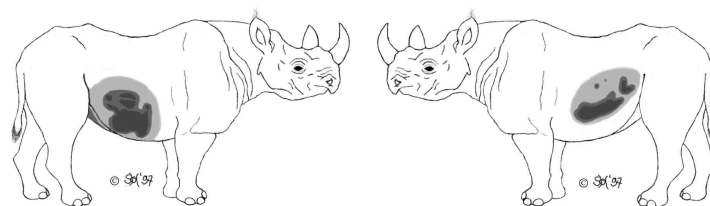
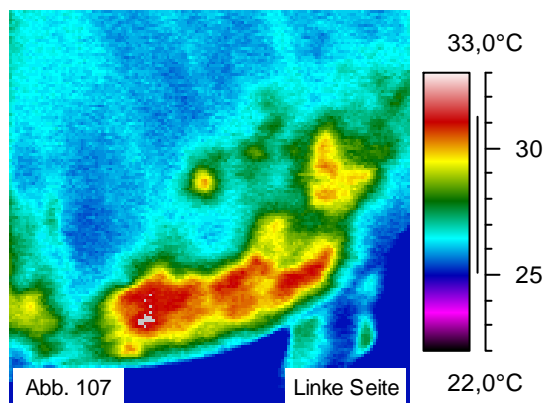
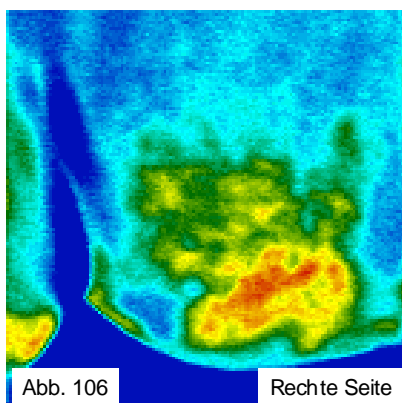
Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 2,5 °C, das der linken Seite ca. 2,0 °C stärker als über den restlichen Körper (beide Bilder aus stumpfem Winkel von hinten).

Datum: 5.5.1997

Ort: Stall

Umgebungstemperatur: 17,7 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	26,0 °C	26,0 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,9 °C	30,8 °C

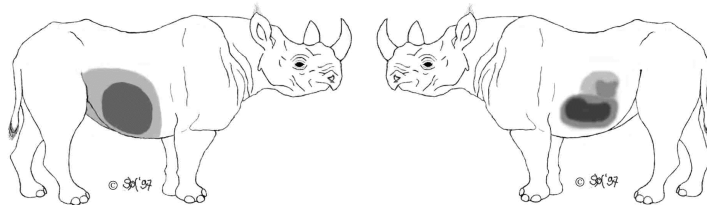
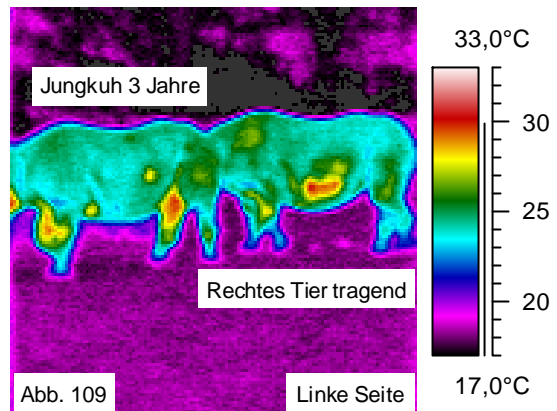
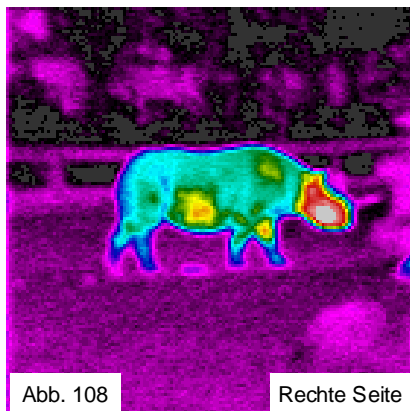
Abb. 106-107: Trächtigkeit im 13. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 4,0 °C, der linken Seite ca. 5,0 °C stärker als über den restlichen Körper.

Fortsetzung der Serie

Datum: 27.5.1997 **Ort:** Außenanlage

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 20 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	24,1 °C	24,1 °C
Trächtigkeitsfeld:	28,0 °C	29,2 °C

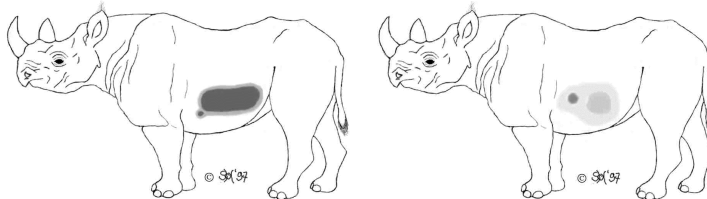
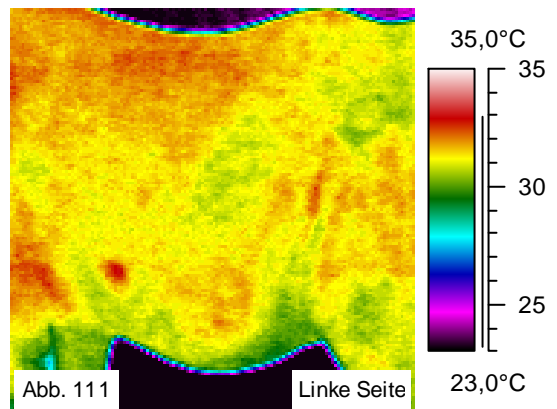
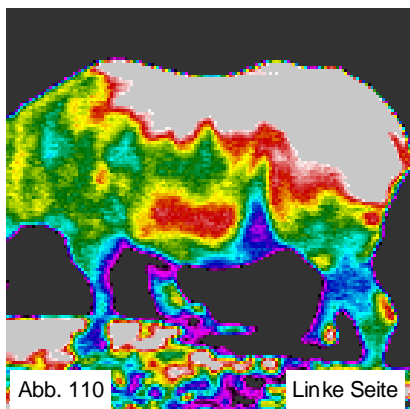
Abb. 108-109: Trächtigkeit im 13. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 4 °C, der linken Seite ca. 5 °C stärker als über den restlichen Körper. Nebenbefund: Muskelerwärmung durch Lauf-Aktivität.

Datum: 2.7.1997

Umgebungstemperatur (außen): 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m

Umgebungstemperatur (Stall): 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m



Infrarot-Befund:

Bild:	links	rechts
Körper:	32,0 °C	30,9 °C
Trächtigkeitsfeld:	33,6 °C	31,6 °C
Sonne auf Rücken:	35,0 °C	32,1 °C

Abb.110-111: Trächtigkeit Ende 14. Monat

Abb. 110: Wärmeabstrahlung über Trächtigkeitsfeld der linken Seite ca. 1,6 °C stärker als über den restlichen Körper außerhalb der Sonnenreflexion.

Abb. 111: 5 Minuten nach dem Eintreten in den Stall: Sonneneinwirkung noch sichtbar. Das Trächtigkeitsfeld ist fast unsichtbar geworden.

Fortsetzung der Serie

Datum: 8.8.1997 Ort: Stall

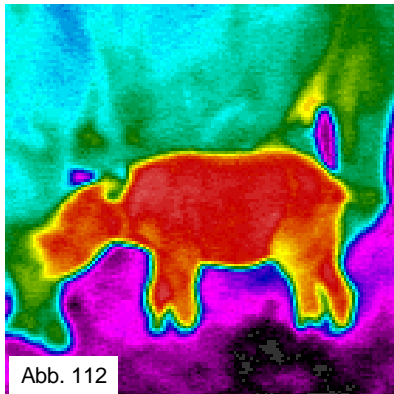
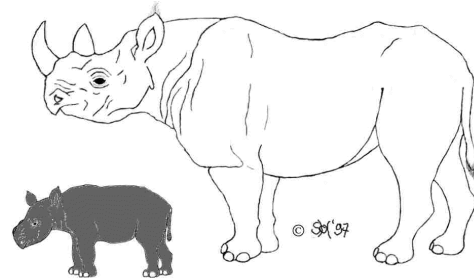


Abb. 112

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 24 m



Infrarot-Befund:

Körper (Mutter): 28,5 °C
Körper (Neugeborenes): 34,6 °C

Abb. 112: Neugeborenes mit Mutter

Wärmeabstrahlung des Neugeborenen (1. Lebenstag) 6 °C stärker als bei Mutter.

Datum: 8.8.1997 Ort: Stall

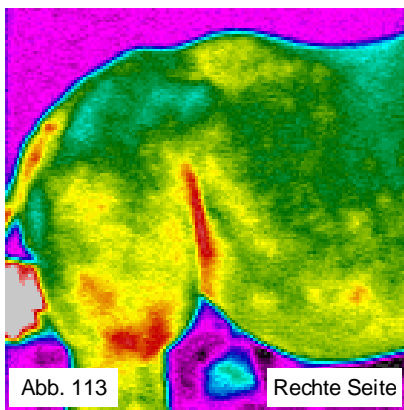


Abb. 113

Rechte Seite

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m

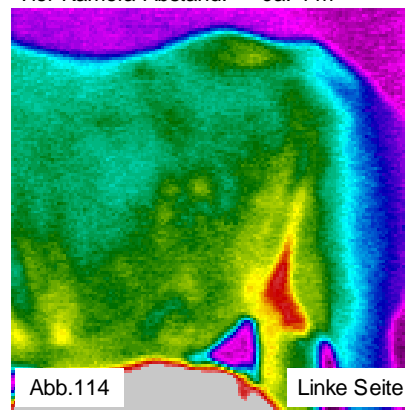


Abb. 114

Linke Seite

1. Tag post partum

Datum: 12.8.1997 Ort: Stall

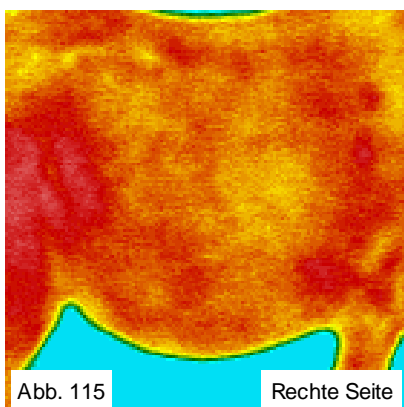


Abb. 115

Rechte Seite

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m

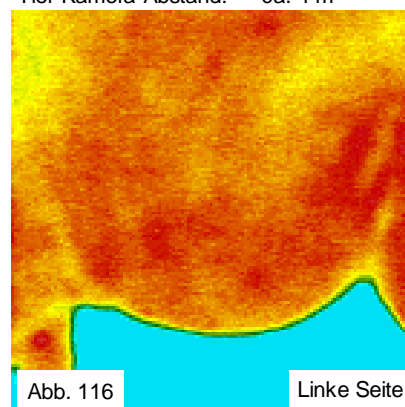


Abb. 116

Linke Seite

5. Tag post partum

Infrarot-Befund:

Datum:	8.8.97	8.8.97	12.8.97	12.8.97
Körperseite:	rechts	links	rechts	links
Körper:	28,4 °C	27,8 °C	31,2 °C	31,0 °C
Puerperalfeld:	29,5 °C	29,1 °C	31,4 °C	31,4 °C

Abb. 113-116: Frühpuerperium

1. Tag post partum: Wärmeabstrahlung über Puerperalfeld der rechten Seite ca. 1,1 °C, der linken Seite ca. 1,3 °C stärker als über den restlichen Körper.

5. Tag post partum: Wärmeabstrahlung über Puerperalfeld der rechten Seite ca. 0,2 °C, der linken Seite ca. 0,4 °C stärker als über den restlichen Körper.

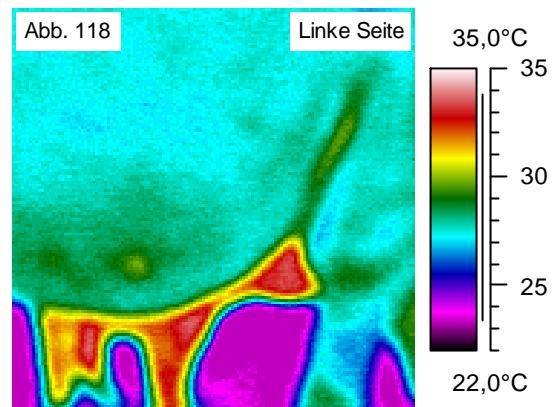
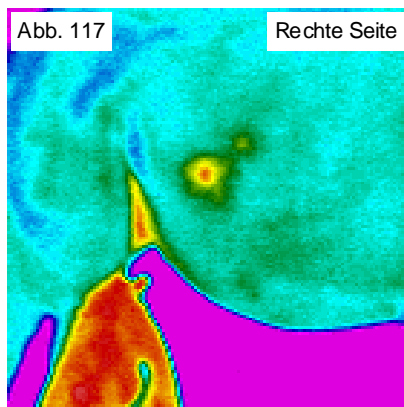
Muttertier am 5. Tag post partum mit generell 3 °C stärkerer Abstrahlung als am 1. Tag.

Fortsetzung der Serie

Datum: 3.9.1997

Ort: Stall

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m



(Jungtier neben Mutter zum Säugen)



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	27,6 °C	27,4 °C
Puerperalfeld:	28,3 °C	28,5 °C

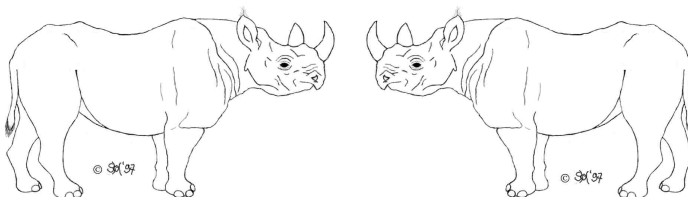
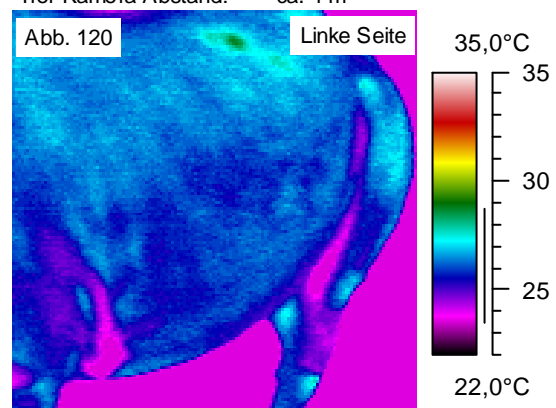
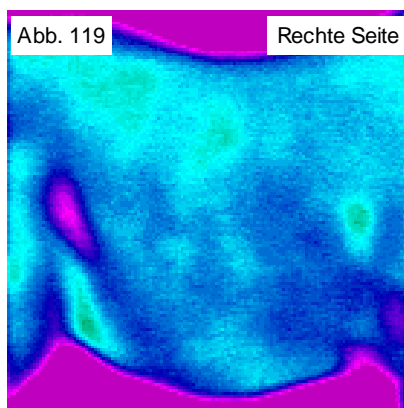
Abb. 117-118: Puerperium 4 Wochen post partum

Wärmeabstrahlung über Puerperalfeld der rechten Seite ca. 0,7 °C, der linken Seite ca. 1,1 °C stärker als über den restlichen Körper. Allgemeine Abstrahlung ähnlich der am 1. Tag post partum.

Datum: 24.10.1997

Ort: Stall

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	26,8 °C	26,4 °C
Puerperalfeld:	26,5 °C	26,0 °C

Abb. 119 - 120: Puerperium 10 Wochen post partum

Wärmeabstrahlung über Puerperalfeld der rechten Seite ca. 0,3 °C, der linken Seite ca. 0,4 °C schwächer als über den restlichen Körper. Puerperium abgeschlossen.

Verlauf von 2 Trächtigkeiten nacheinander bei gleichem Individuum im Zoo Leipzig

Datum: 3.9.1997

Ort: Außenanlage

Umgebungstemperatur: 21,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m

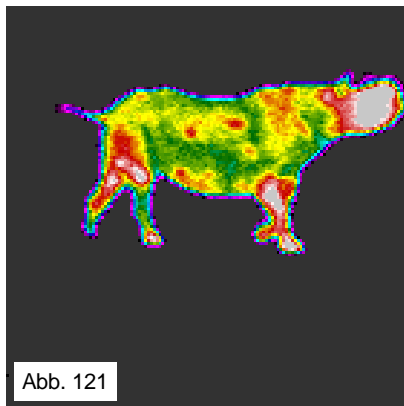


Abb. 121

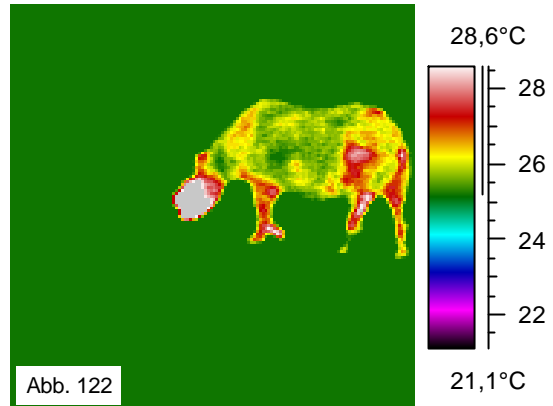
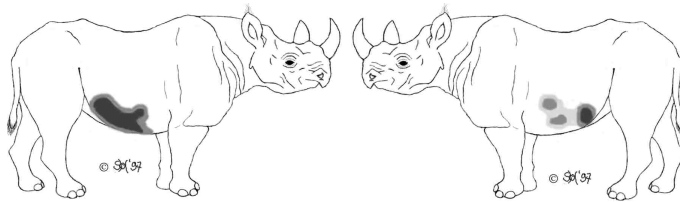


Abb. 122



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper (kühler Bereich):	25,4 °C	25,6 °C
Trächtigkeitsfeld:	26,7 °C	26,3 °C
Hinterschenkel:	27,2 °C	27,0 °C

Abb. 121-122: 1. Trächtigkeit Ende 13. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,3 °C, der linken Seite ca. 0,7 °C stärker als über den restlichen Körper.

Nebenbefund: Allgemeine Abstrahlung stark erhöht durch intensives Traben und Galoppieren.

Datum: 4.9.1997

Ort: Stall

Umgebungstemperatur: 24,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m

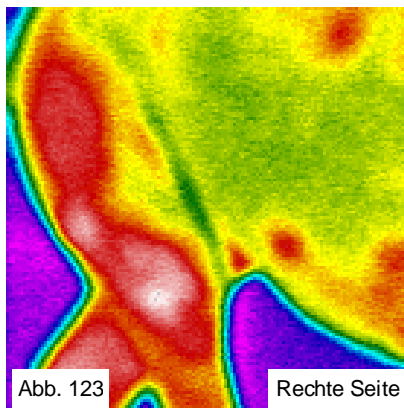


Abb. 123

Rechte Seite

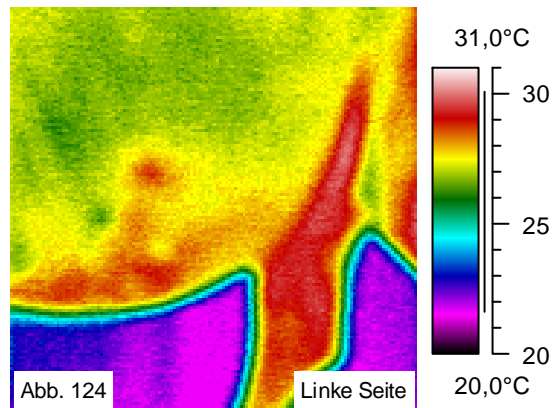
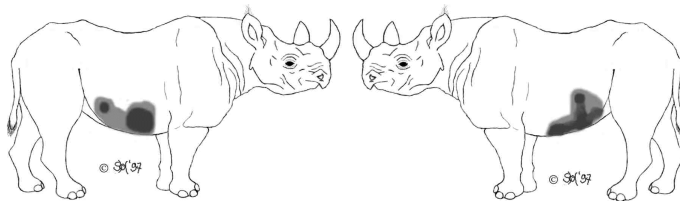


Abb. 124

Linke Seite



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper (kühler Bereich):	26,8 °C	26,8 °C
Trächtigkeitsfeld:	28,5 °C	28,3 °C
Hinterschenkel:	29,9 °C	29,0 °C

Abb. 123-124: 1.Trächtigkeit Ende 13. Monat

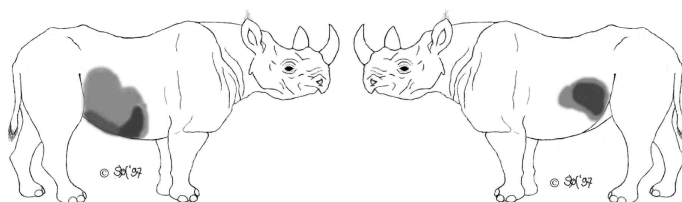
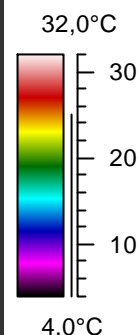
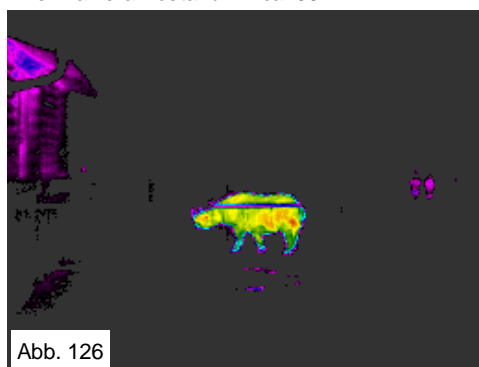
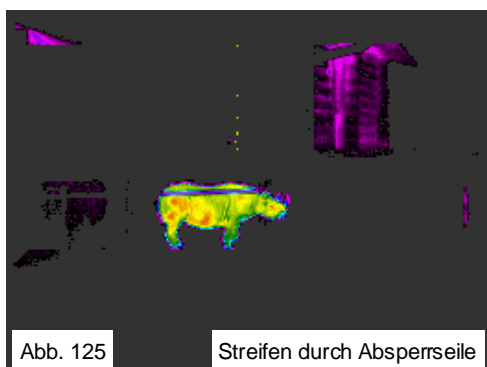
Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,7 °C, der linken Seite ca. 1,5 °C stärker als über die kühlen Bereiche des restlichen Körpers (Geburt 8.11.97).

Allgemeine Abstrahlung stark erhöht durch Streß (schnelles Umherlaufen im fremden Stall). Tier sehr nervös. Fortwährend Angriffe gegen den Untersucher.

Fortsetzung der Serie: 2. Trächtigkeit

Datum: 18.11.1998 **Ort:** Außenanlage

Umgebungstemperatur: 12,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 30 m



Infrarot-Befund:

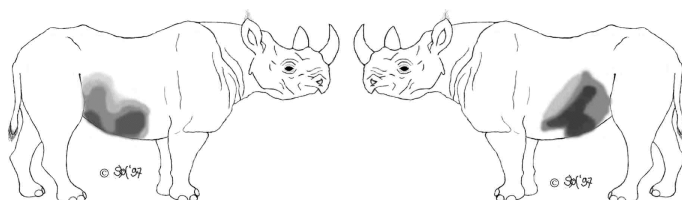
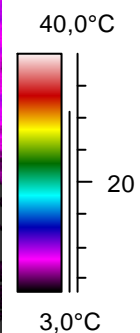
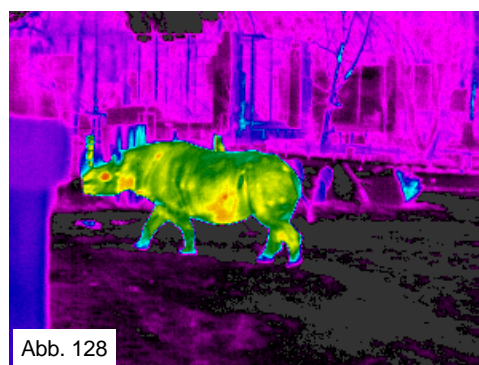
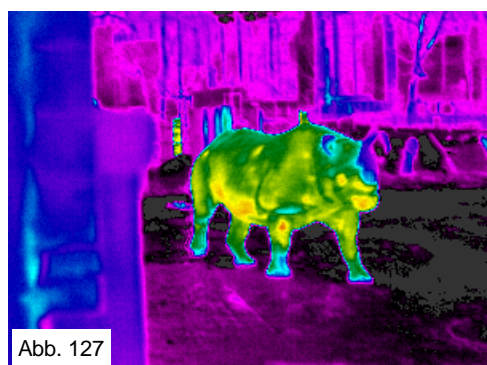
Körperseite:	rechts	links
Körper (kühler Bereich):	21,4 °C	21,5 °C
Trächtigkeitsfeld:	24,5 °C	23,9 °C
Hinterschenkel:	23,7 °C	23,3 °C

Abb. 125-126: 2. Trächtigkeit im 10. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 3,1 °C, der linken Seite ca. 2,4 °C stärker als über den restlichen Körper. Untersuchung über Distanz von ca. 30 m (Abstrahlung der Hinterschenkel vermehrt durch intensives Traben).

Datum: 17.12.1998 **Ort:** Außenanlage

Umgebungstemperatur: 4,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 15 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper (kühler Bereich):	23,9 °C	23,9 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,3 °C	29,1 °C
Hinterschenkel:	29,3 °C	28,2 °C

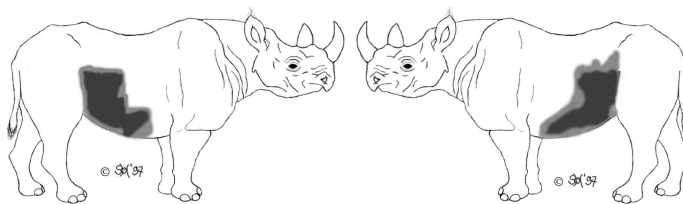
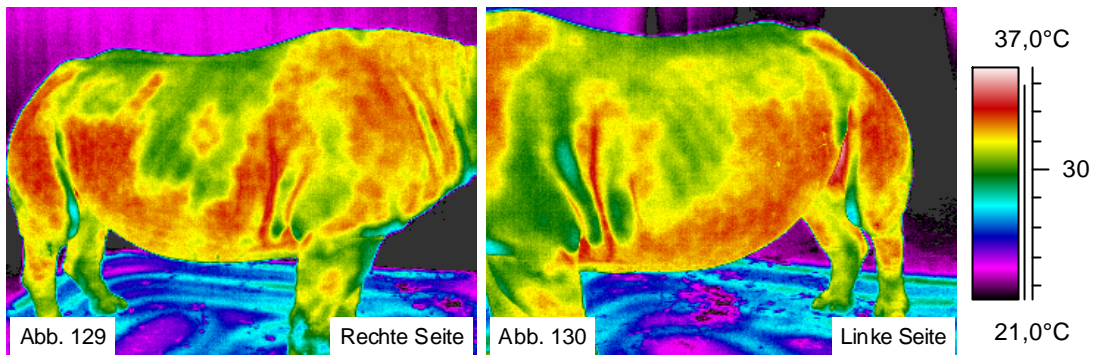
Abb. 127-128: 2. Trächtigkeit im 11. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 5,4 °C, der linken Seite ca. 5,2 °C stärker als über den restlichen Körper. Untersuchung über eine Distanz von ca. 15 m. Abstrahlung der Hinterschenkel stark vermehrt durch intensives Traben.

Fortsetzung 2. Trächtigkeit

Datum: 17.3.1999 Ort: Stall

Umgebungstemperatur: 22,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m



Infrarot-Befund:

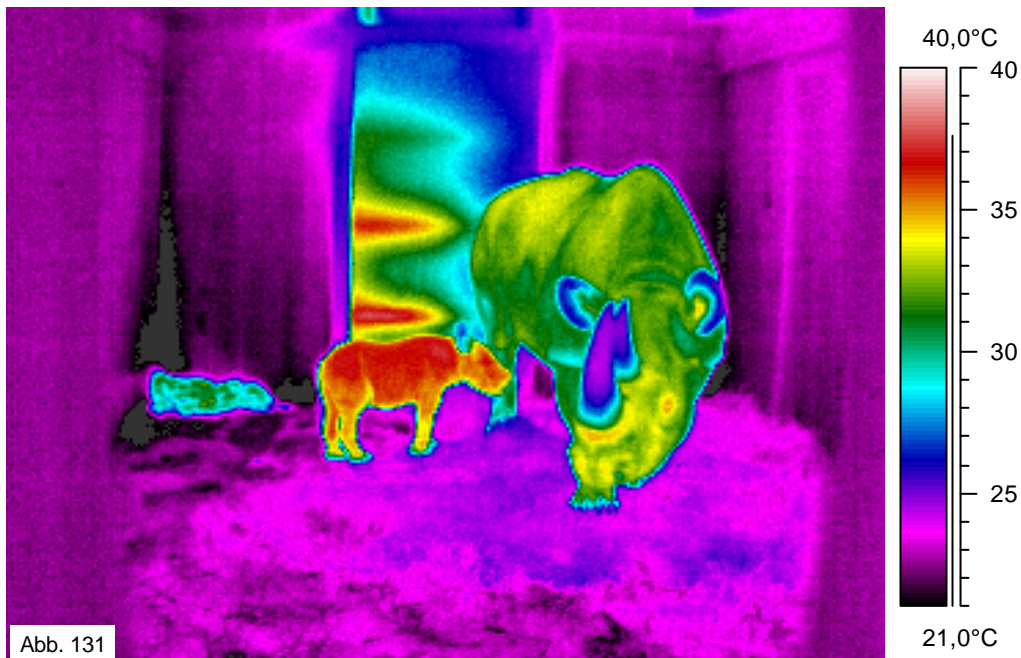
Körperseite:	rechts	links
Körper (kühler Bereich):	30,6 °C	31,0 °C
Trächtigkeitsfeld:	33,7 °C	33,2 °C
Hinterschenkel:	33,7 °C	33,5 °C
Boden (Heizung):	25,7 °C	25,4 °C

Abb. 129-130: Trächtigkeit im 14. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 3,1 °C, der linken Seite ca. 2,2 °C stärker als über die kühlen Bereiche des restlichen Körpers. Allgemeine Abstrahlung stark erhöht durch Streß (schnelles Umherlaufen in einem fremden Stall).

Datum: 17.5.1999 Ort: Stall

Umgebungstemperatur: 22,0 °C
Tier- Kamera-Abstand: ca. 4 m



Infrarot-Befund:

Körper (Mutter):	32,0 °C
Körper (Jungtier):	36,3 °C
Fußboden:	24,4 °C

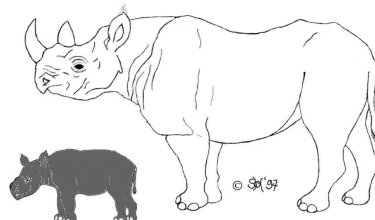
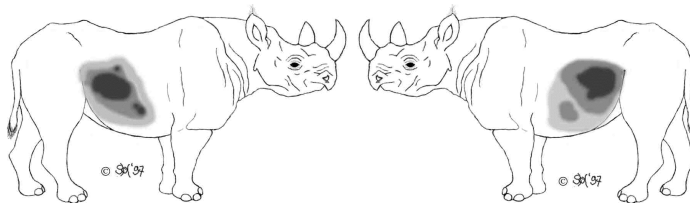
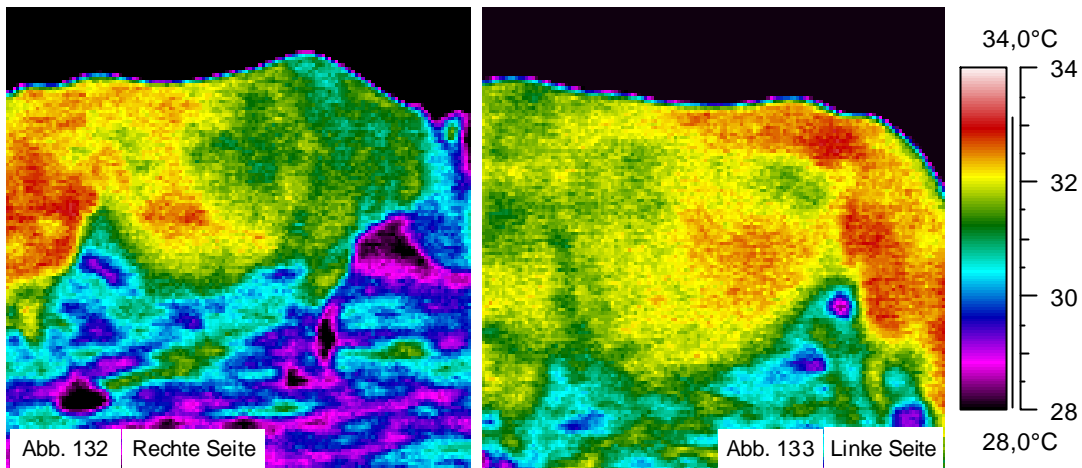


Abb. 131: Neugeborenes am 10. Lebenstag

Jungtier (geboren am 7. Mai 1999) mit ca. 4 °C stärkerer Wärmeabstrahlung als Mutter.

Trächtigkeit: Einzeluntersuchungen

Tier 1: Datum: 5.9.1997 Ort: Zoo Dvur Králové (Außenanlage) Umgebungstemperatur: 31,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m



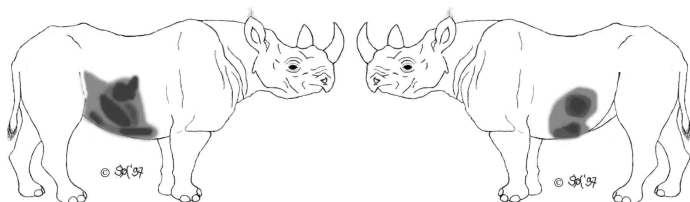
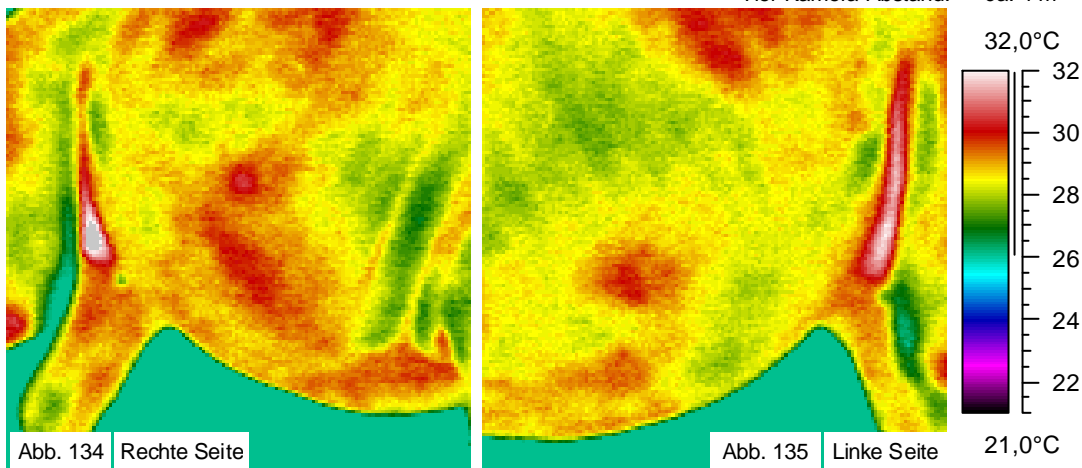
Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	31,4 °C	31,6 °C
Trächtigkeitsfeld:	32,4 °C	32,4 °C
Hinterschenkel:	32,6 °C	32,5 °C

Abb. 132-133: Trächtigkeit Mitte 14. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 0,8 °C, der linken Seite ca. 1,0 °C stärker als über den restlichen Körper (Erwärmung der Muskeln im Rücken-Schenkel-Bereich durch Lauf-Aktivität sowie beginnende Sonneneinstrahlung bei 31 °C Außentemperatur).

Tier 2: Datum: 5.9.1997 Ort: Zoo Dvur Králové (Außenanlage) Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	27,9 °C	27,9 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,4 °C	28,8 °C
Sonne auf Rücken:	28,8 °C	28,8 °C

Abb. 134-135: Trächtigkeit Mitte 11. Monat

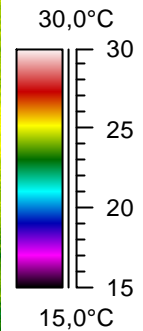
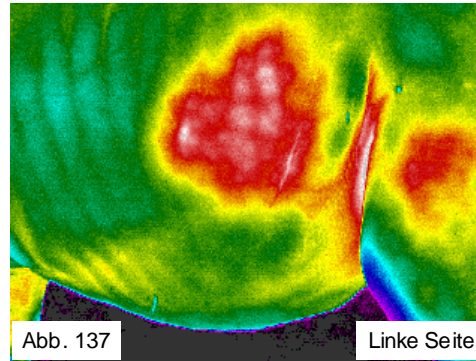
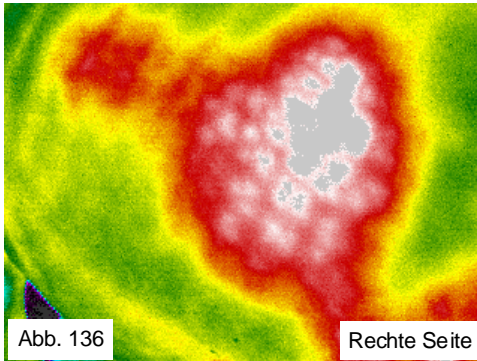
Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,5 °C, der linken Seite ca. 0,9 °C stärker als über den restlichen Körper außerhalb der Sonnenreflexion. (Bilder ca. 15 Minuten nach dem Eintreten in den Stall: Sonneneinstrahlung noch sichtbar).

Tierart: Breitmaulnashorn *Ceratotherium simum*

Trächtigkeitsverlauf bei Tier 1

Datum: 7.2.1998 Ort: Zoo Hodenhagen [Safaripark] (Stall)

Umgebungstemperatur: 12,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m



Infrarot-Befund:

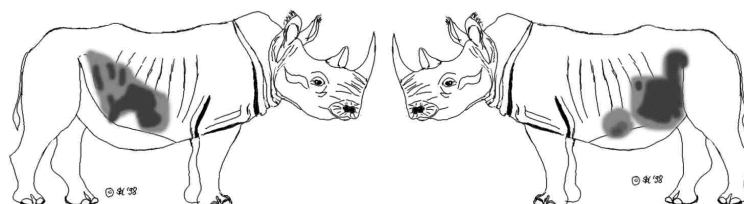
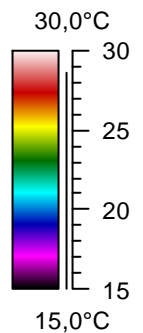
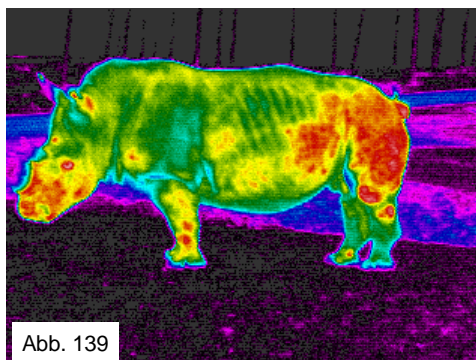
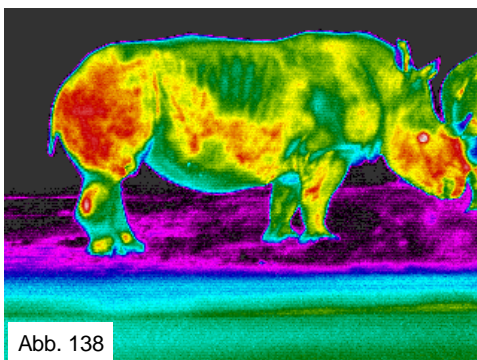
Körperseite:	rechts	links
Körper (kühler Bereich):	24,5 °C	22,6 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,0 °C	27,8 °C
Hinterschenkel:		25,3 °C

Abb. 136-137: Trächtigkeit Ende 10. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 4,5 °C, der linken Seite ca. 3,2 °C stärker als über den restlichen Körper. Nebenfund: leichte Hautabschürfungen. Hautreizungen durch Scheuern an der Wand des Stalls überlagern teilweise Trächtigkeitsfelder.

Datum: 3.7.1998 Ort: Zoo Hodenhagen [Safaripark] (außen)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper (kühler Bereich):	23,2 °C	23,7 °C
Trächtigkeitsfeld:	25,4 °C	26,2 °C
Hinterschenkel:	27,0 °C	27,1 °C

Abb. 138-139: Trächtigkeit Ende 15. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 2,2 °C, der linken Seite ca. 2,5 °C stärker als über den restlichen Körper (Geburt: 26.9.1998). (Abstrahlung der Hinterschenkel stark vermehrt durch intensives Traben).

Trächtigkeitsverlauf bei Tier 2

Datum: 7.2.1998 Ort: Zoo Hohenhausen [Safaripark] (Stall)

Umgebungstemperatur: 12,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m

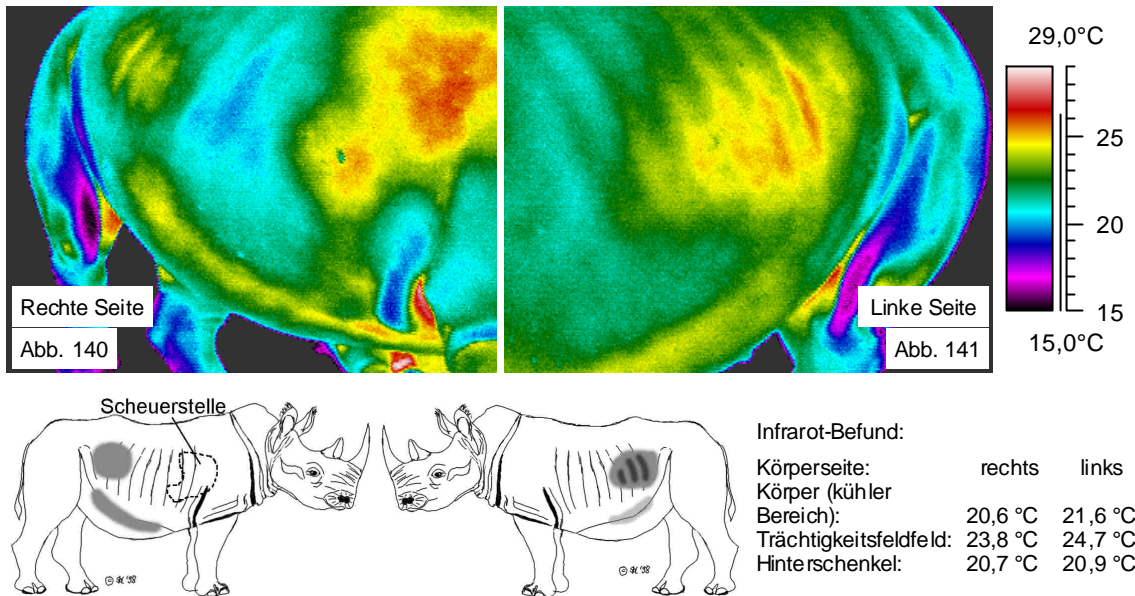


Abb. 140-141: Trächtigkeit Mitte 8. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 3,2 °C, der linken Seite ca. 3,1 °C stärker als über den restlichen Körper. Nebenfund: leichte Hautabschürfung rechts. Hautreizungen durch Scheuern an der Wand des Stalls an der rechten Schulter.

Datum: 7.2.1998 Ort: Zoo Hohenhausen [Safaripark] (außen)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m

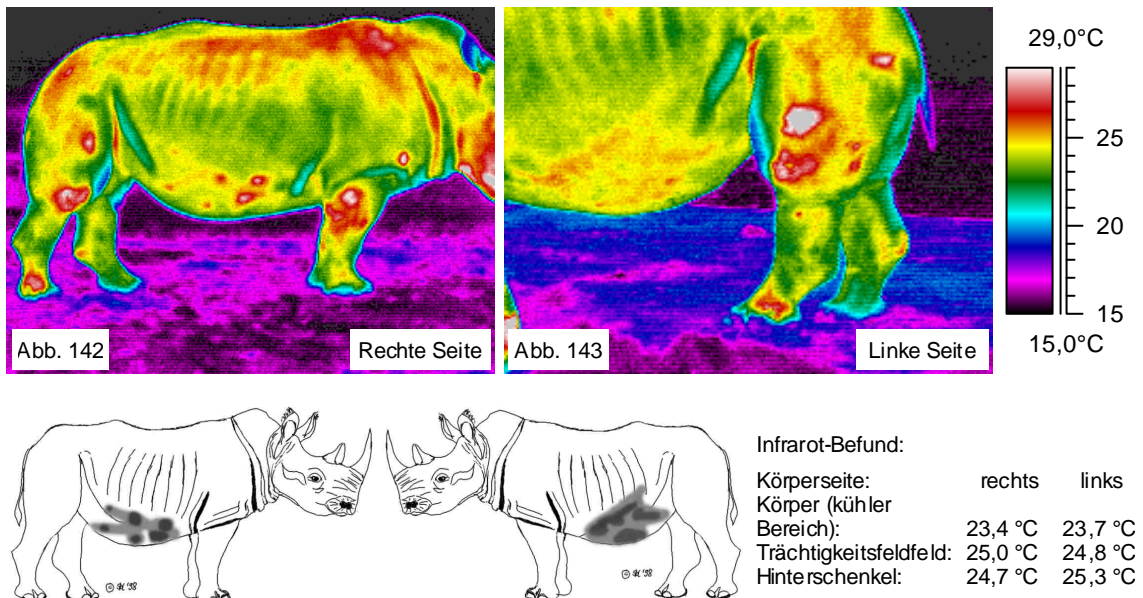


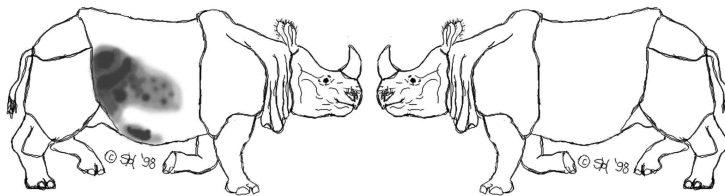
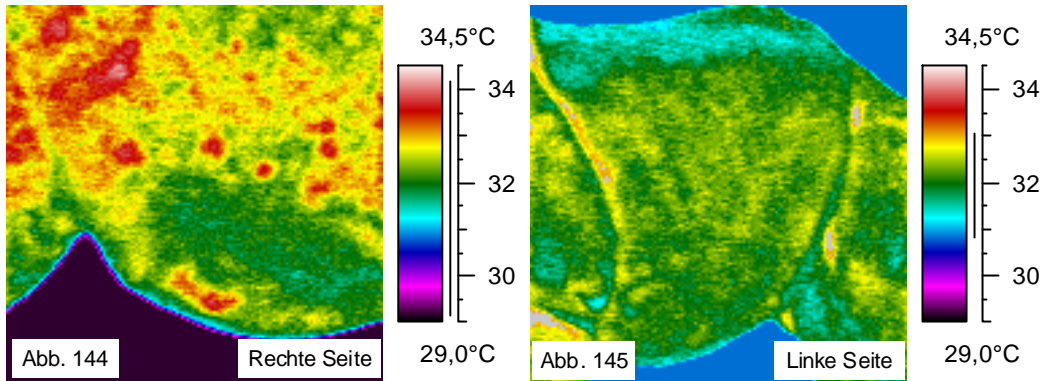
Abb. 142-143: Trächtigkeit Mitte 13. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 2,4 °C, der linken Seite ca. 1,2 °C stärker als über den restlichen Körper. Abstrahlung über den Rücken-Schenkel-Bereich durch intensives Traben vermehrt.

Tierart: Panzernashorn *Rhinoceros unicornis*

Trächtigkeit: Einzeluntersuchung

Tier 1: Datum: 25.8.1997 Ort: Zoo Rotterdam (Stall) Umgebungstemperatur: 23,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	32,0 °C	32,1 °C
Trächtigkeitsfeld:	33,3 °C	--
Hinterschenkel:	33,2 °C	32,1 °C

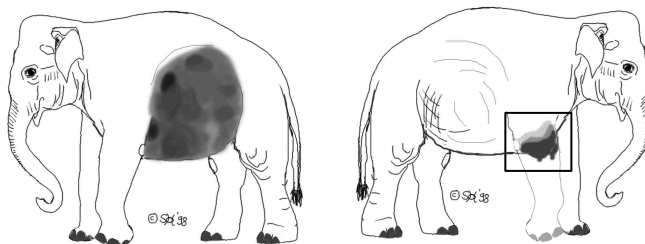
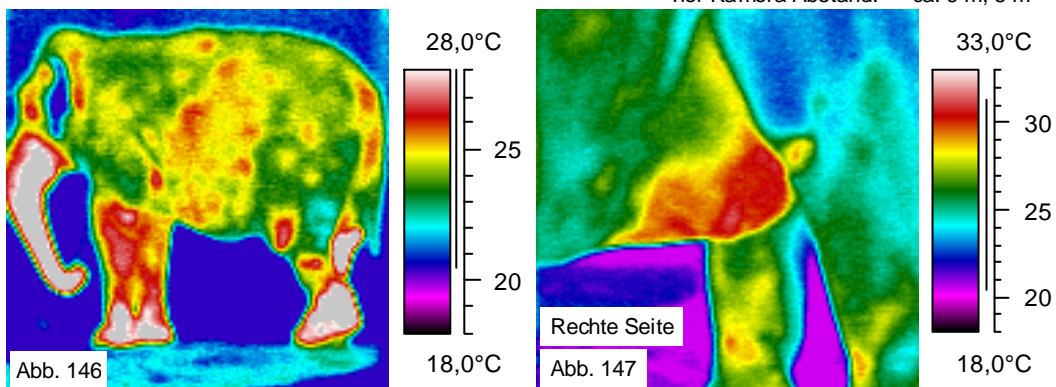
Abb. 144-145: Trächtigkeit Mitte 10. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld auf der rechten Seite ca. 1,3 °C stärker als über den restlichen Körper. Linke Seite: kein Trächtigkeitsfeld sichtbar.

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

Trächtigkeitsdiagnostik bei Elefanten und Verlauf bei Tier 1

Tier 1: Datum: 30.8.1997 Ort: Zoo Zürich (Stall) Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 9 m; 5 m



Infrarot-Befund:

Bild:	links	rechts
Körper:	24,0 °C	24,0 °C
Trächtigkeitsfeld:	25,3 °C	--
Milchdrüse:	--	29,6 °C

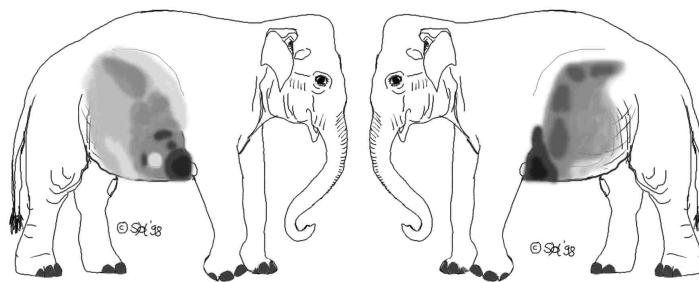
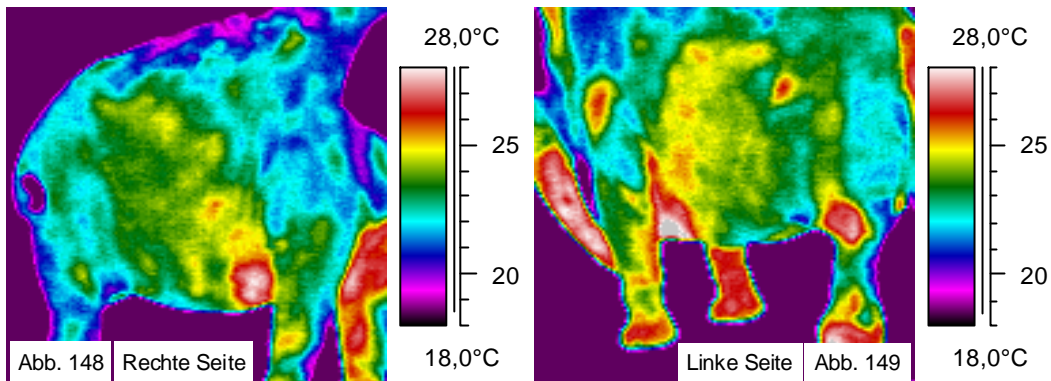
Abb. 146-147: Trächtigkeitsfeld und Milchdrüse bei trächtiger Elefantin

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der linken Seite ca. 1,2 °C stärker als über die Schulter. Beine und Rüssel mit vermehrter Abstrahlung. Milchdrüse strahlt ca. 5,6 °C mehr Wärme ab als Schulter.

Fortsetzung der Serie

Datum: 26.6.1997 Ort: Zoo Zürich (Stall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 8 m



Infrarot-Befund

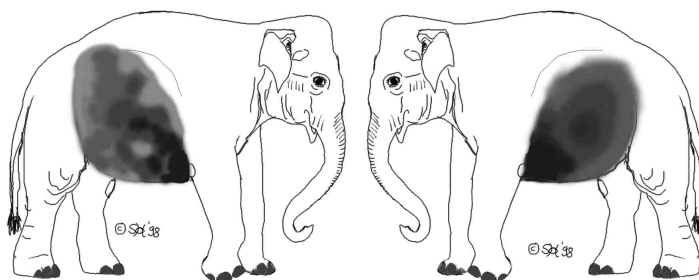
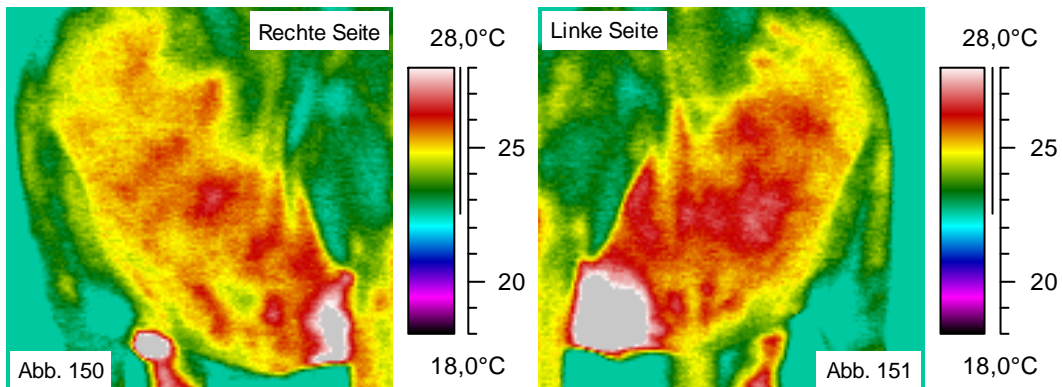
Körperseite:	rechts	links
Körper:	22,0 °C	22,0 °C
Trächtigkeitsfeld:	23,9 °C	24,5 °C
Brust-Herz-Region:	26,7 °C	27,0 °C

Abb. 148-149: Trächtigkeit im 20. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,9 °C, der linken Seite ca. 2,5 °C stärker als über den restlichen Körper (außer Herz-Region) (multipare Elefantenkuh).

Datum: 30.8.1997 Ort: Zoo Zürich (Stall)

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	23,5 °C	23,5 °C
Trächtigkeitsfeld:	25,4 °C	25,8 °C

Abb. 150-151: Trächtigkeit im 22. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,9 °C, der linken Seite ca. 2,3 °C stärker als über den restlichen Körper und insgesamt 2 °C stärker als im 20. Monat.

Trächtigkeitsverlauf

Tier 2: Datum: 5.5.1997 Ort: Zoo Berlin (Stall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 6 m

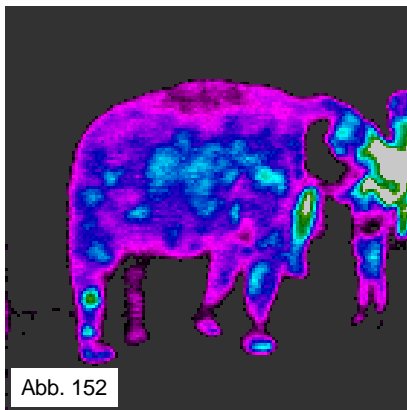


Abb. 152

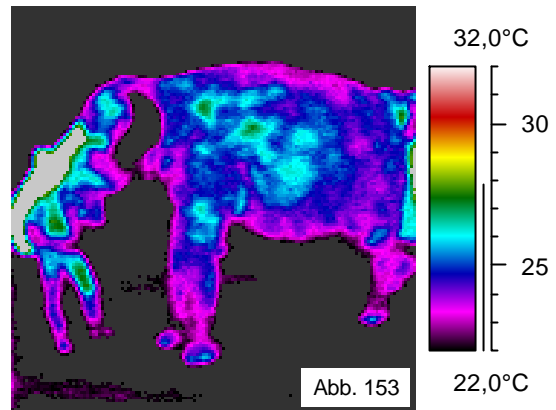
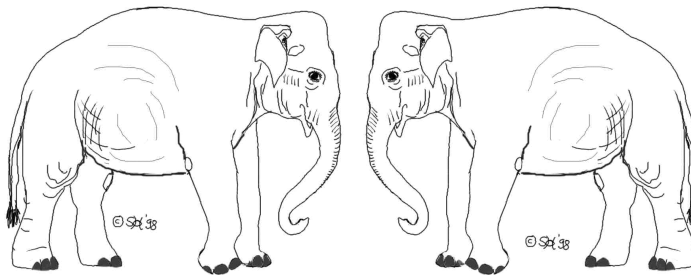


Abb. 153



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	24,5 °C	24,9 °C
Bauch:	24,7 °C	25,1 °C

Abb. 152-153: Nichtträchtiges Tier

Wärmeabstrahlung über den Bauch der rechten und linken Seite ist ca. 0,2 °C stärker als über den restlichen Körper. Elefant ist noch nicht geschlechtsreif.

Datum: 20.12.1999 Ort: Zoo Berlin (Stall)

Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m

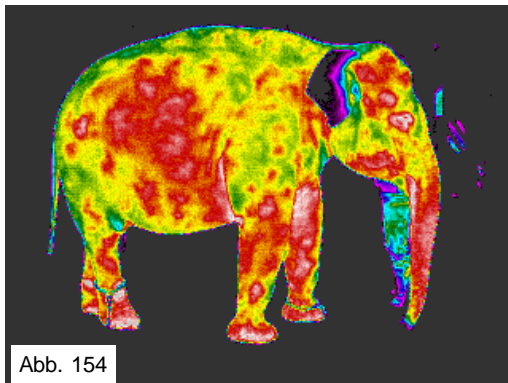


Abb. 154

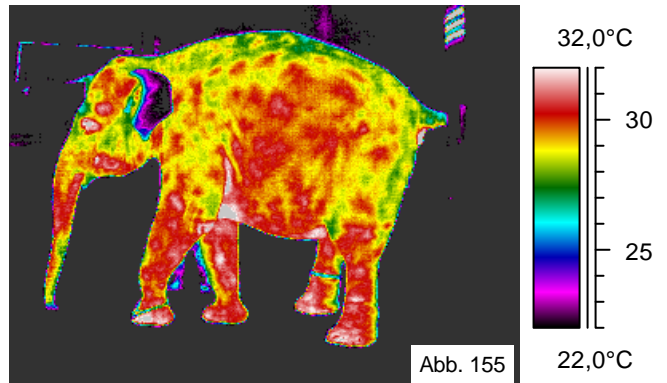
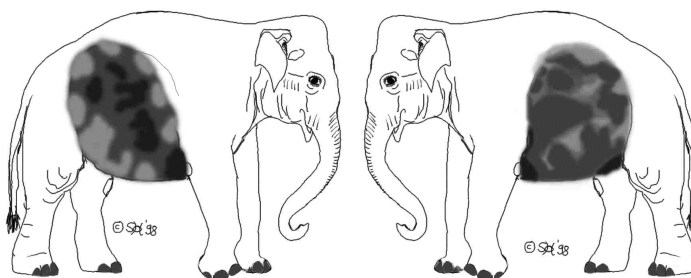


Abb. 155



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	28,7 °C	28,8 °C
Trächtigkeitsfeld:	30,2 °C	29,9 °C

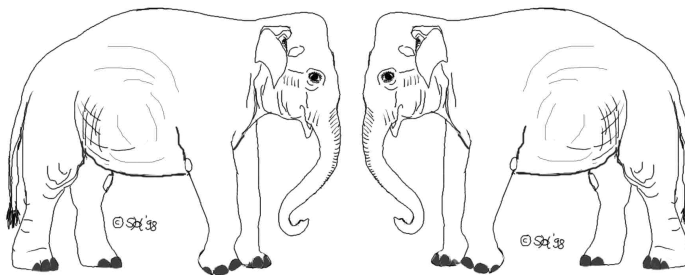
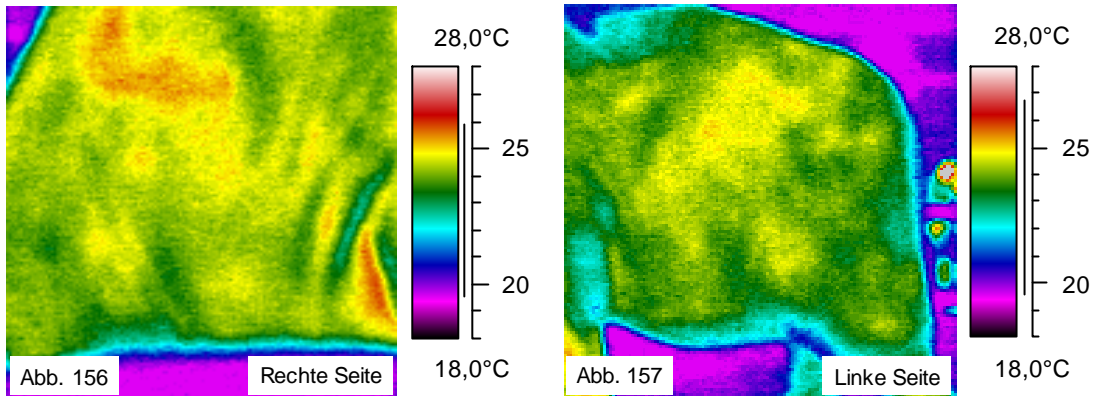
Abb. 154-155: Trächtigkeit im 19. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,5 °C, auf der linken Seite ca. 1,1 °C stärker als über den restlichen Körper (primipare Elefantenkuh).
Trächtige Elefant ist insgesamt ca. 4 °C wärmer als vor der Trächtigkeit.

Einzeluntersuchungen

Tier 3: Datum: 27.8.1997 Ort: Zoo Chester (Stall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



Infrarot-Befund:

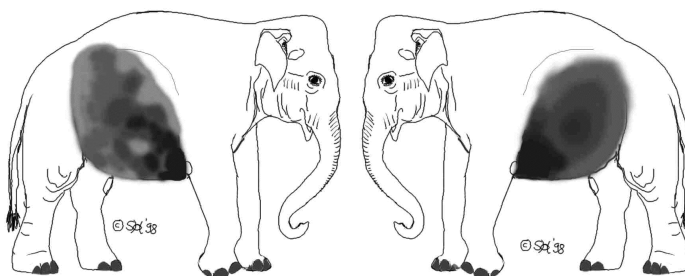
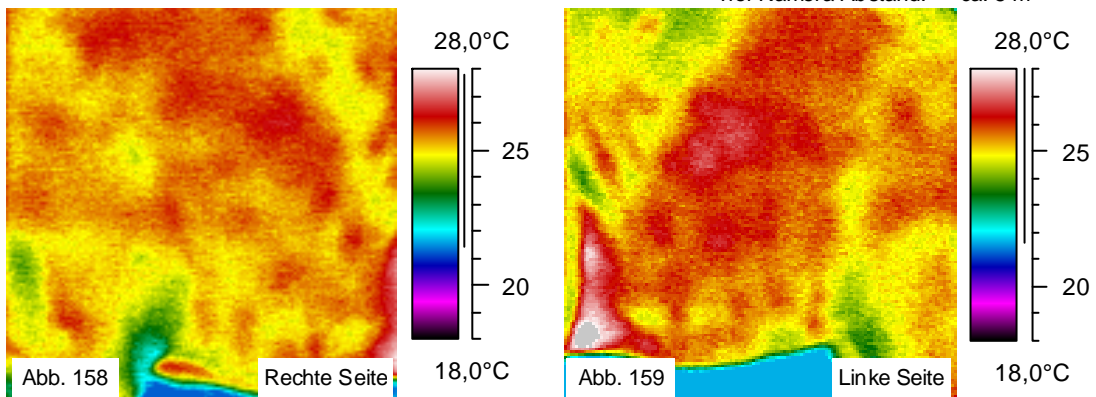
Körperseite:	rechts	links
Körper:	24,5 °C	24,0 °C
Bauch:	24,4 °C	24,1 °C

Abb. 156-157: Nichtträchtiges Vergleichstier

In der Wärmeabstrahlung zwischen Bauch und Körper besteht kein Unterschied. Der warme Fleck am rechten Hinterleib stammt von der noch nachwirkenden Sonneneinstrahlung.

Tier 4: Datum: 27.8.1997 Ort: Zoo Chester (Stall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	25,2 °C	24,8 °C
Trächtigkeitsfeld:	25,8 °C	26,2 °C

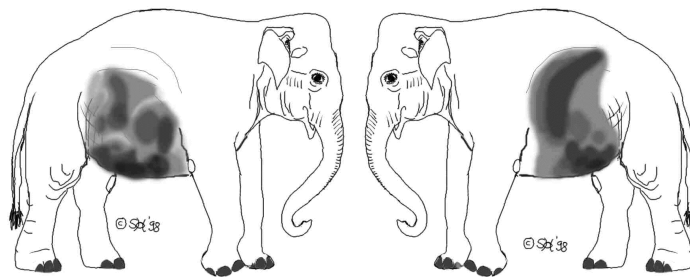
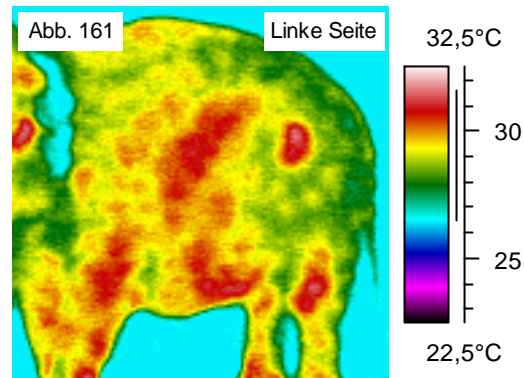
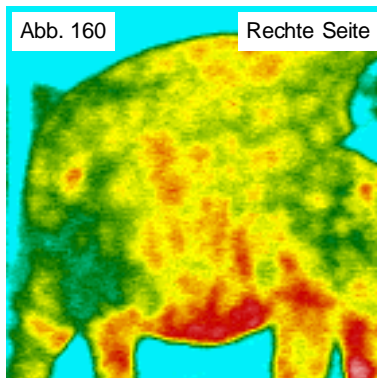
Abb. 158-159: Trächtigkeit im 17. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 0,6 °C, der linken Seite ca. 1,4 °C stärker als über den restlichen Körper (multipare Elefantenkuh). Tier kommt direkt von der Außenanlage und ist noch feucht.

Einzeluntersuchungen

Tier 5: Datum: 2.7.1997 Ort: Tierpark Berlin (Stall)

Umgebungstemperatur: 22,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



Infrarot-Befund:

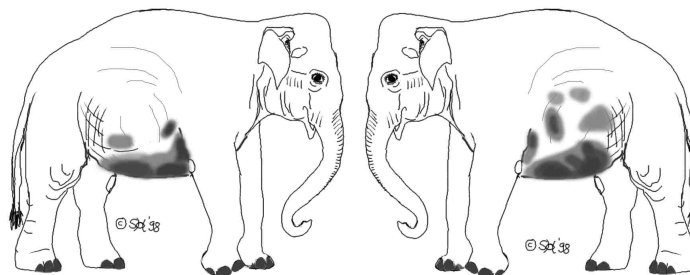
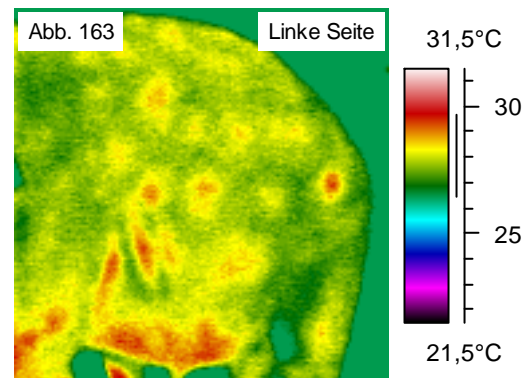
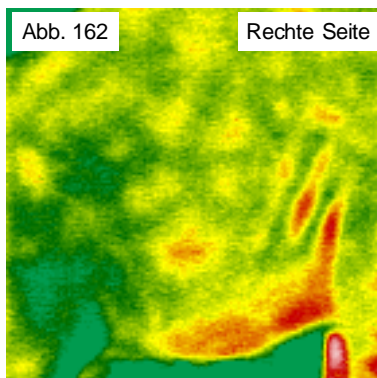
Körperseite:	rechts	links
Körper:	28,9 °C	28,9 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,9 °C	30,1 °C

Abb. 160-161: Trächtigkeit im 15. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,0 °C, der linken Seite ca. 1,3 °C stärker als über die weniger abstrahlenden Stellen des restlichen Körpers.

Tier 6: Datum: 2.7.1997 Ort: Tierpark Berlin (Stall)

Umgebungstemperatur: 22,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



Infrarot-Befund:

Seite:	rechts	links
Körper:	27,7 °C	27,7 °C
Trächtigkeitsfeld:	28,3 °C	28,4 °C
Unterbauch:	28,9 °C	28,9 °C

Abb. 162-163: Trächtigkeit im 9. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 0,6 °C, der linken Seite ca. 0,7 °C stärker als über den restlichen Körper. Die Wärmeabstrahlung über den Unterbauch ist 1,2 °C stärker als die des restlichen Körpers.

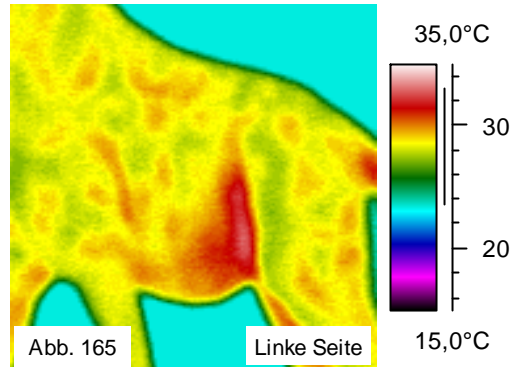
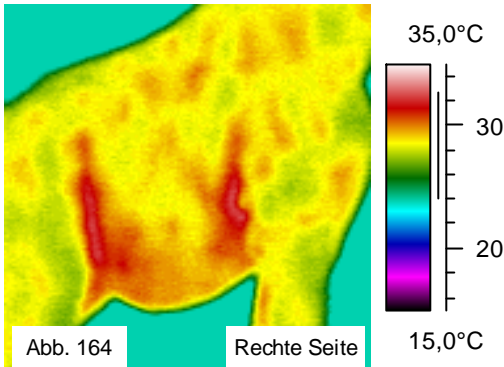
Tierart: Giraffe *Giraffa camelopardalis*

Trächtigkeitsverlauf und Puerperium bei einer Giraffe im Zoo Leipzig

Einschub: Abb. 168 und 169 sind vom einem Vergleichstier (Giraffenbulle).

Tier 1: Datum: 4.9.1997 Ort: Zoo Leipzig (Stall)

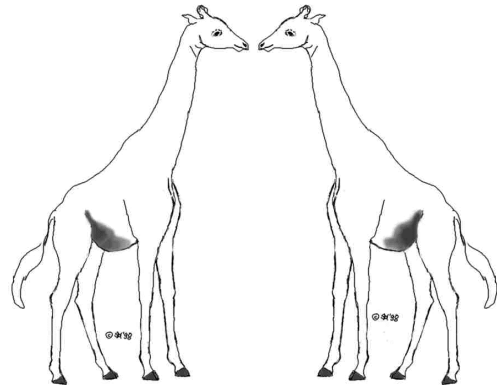
Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



<u>Infrarot-Befund:</u>	Körperseite:	rechts	links
	Körper:	28,9 °C	28,7 °C
	Puerperalfeld:	29,9 °C	30,0 °C
	Hinterschenkel:	28,6 °C	28,7 °C

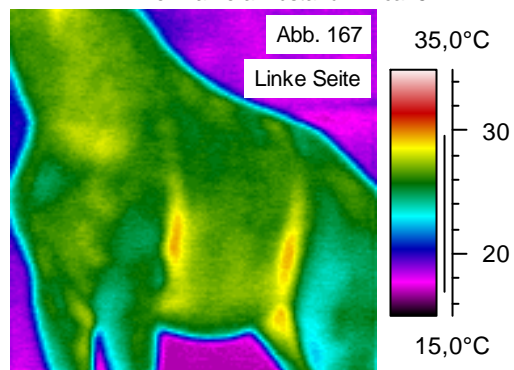
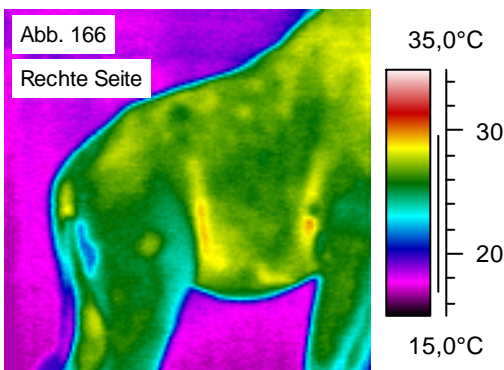
Abb. 164-165: Puerperium 2 Monate nach Kalben am 6.7.97

Vermehrte Wärmeabstrahlung über Unter- und Hinterbauch, über Puerperalfeld ca. 1,2 °C stärker als über den restlichen Körper und ca. 1,3 °C stärker als über den Schenkel. Das Kalb war im Alter von 2 Wochen gestorben.



Datum: 17.12.1997 Ort: Zoo Leipzig (Stall)

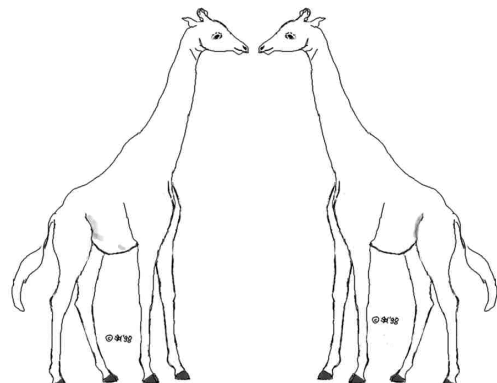
Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



<u>Infrarot-Befund:</u>	Körperseite:	rechts	links
	Körper:	26,6 °C	26,4 °C
	Puerperalfeld:	27,4 °C	27,1 °C
	Hinterschenkel:	25,4 °C	24,7 °C

Abb. 166-167: Puerperium abgeschlossen

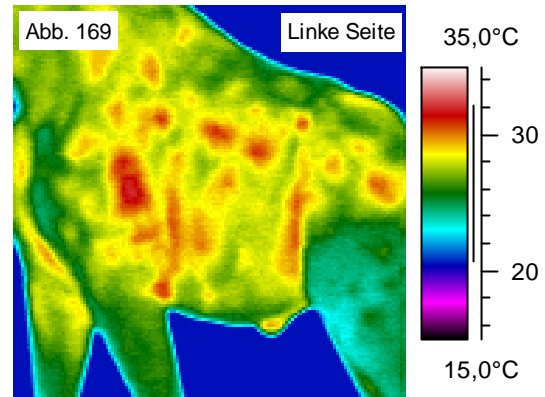
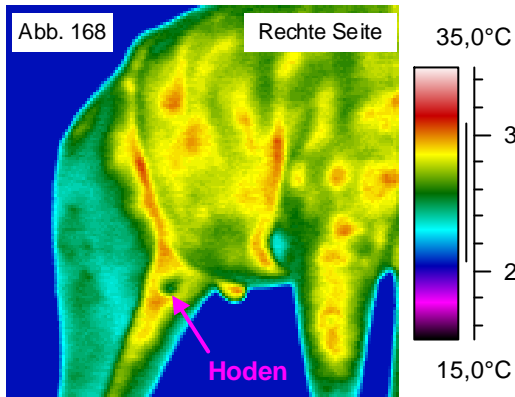
17.12.97 vermutlich neuer Konzeptionszeitraum. Die Wärmeabstrahlung über das Puerperalfeld ist ca. 0,8 °C stärker als über den restlichen Körper und ca. 2,2 °C stärker als über die Schenkel.



Vergleichsuntersuchung

Tier 2: Datum: 17.12.1997 Ort: Zoo Leipzig (Stall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m

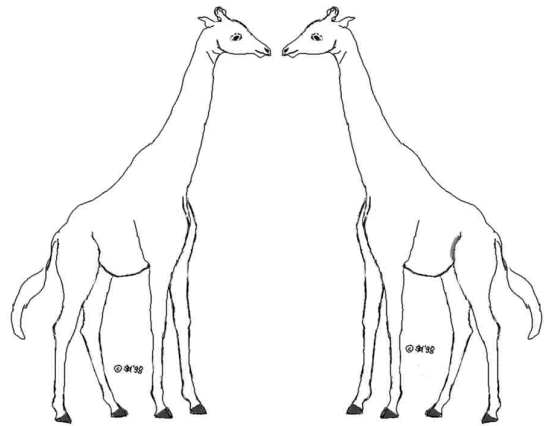


Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	27,6 °C	28,3 °C
Bauch:	28,1 °C	28,2 °C

Abb. 168-169: Männliches Vergleichstier

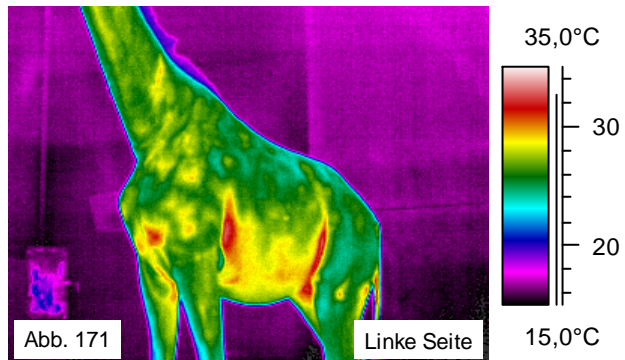
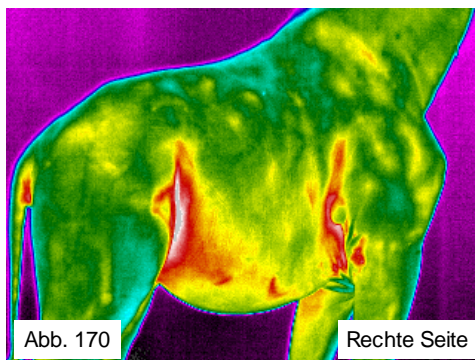
Giraffenbule aus Leipzig als Vergleichstier zur trächtigen Giraffenkuh [Tier 1] (gleiche Einstellung). Noch leichte Sonnenfleckung auf dem Körper vom Aufenthalt auf der Außenanlage.



Fortsetzung der Serie

Tier 1: Datum: 20.4.1998 Ort: Zoo Leipzig (Stall)

Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m

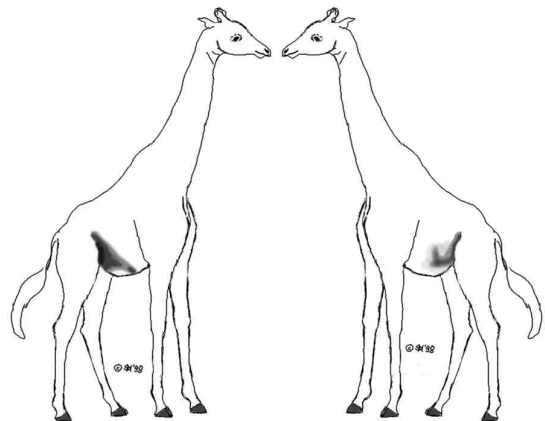


Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	26,3 °C	26,2 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,2 °C	28,9 °C
Hinterschenkel:	25,9 °C	25,3 °C

Abb. 170-171: Trächtigkeit Ende 4. Monat

Unter- und Hinterbauch zeigen vermehrte Wärmeabstrahlung, über Trächtigkeitsfeld ca. 2,8 °C stärker als über den restlichen Körper und ca. 3,5 °C stärker als über die Schenkel.



Fortsetzung der Serie

Datum: 28.9.1998

Ort: Zoo Leipzig (Stall)

Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m

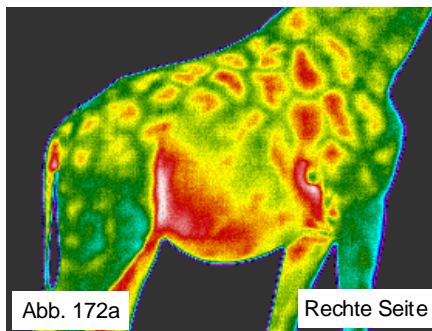


Abb. 172a

Rechte Seite

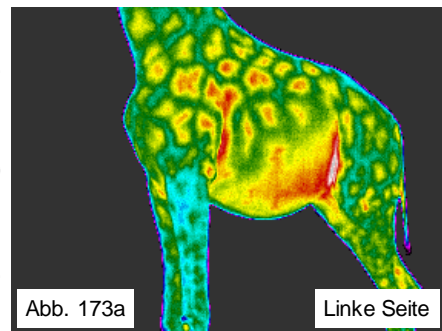


Abb. 173a

Linke Seite

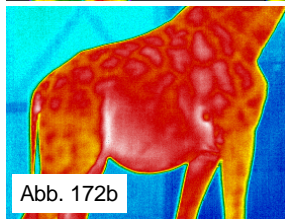


Abb. 172b

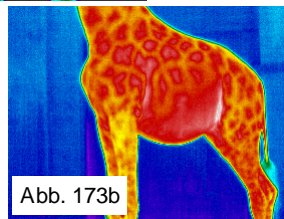
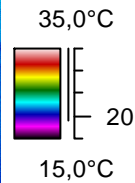


Abb. 173b

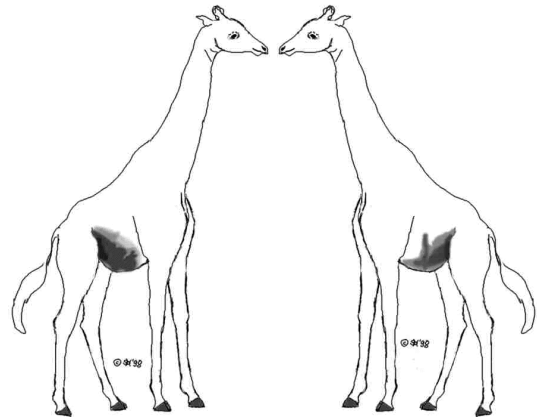


Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	31,6 °C	31,3 °C
Trächtigkeitsfeld:	32,9 °C	32,4 °C
Hinterschenkel:	30,4 °C	30,6 °C

Abb. 172a-173b: Trächtigkeit Beginn 10. Monat

Gleiches Bild mit zwei verschiedenen Temperatureinstellungen (Abb. "a": 25-35 °C; Abb. "b": 15-35 °C). Vermessung im Bild mit der gleichen Einstellung wie bei vorhergehenden Bildern (Abb. "b": 15-35 °C). Wärmeabstrahlung vermehrt über Unter- und Hinterbauch, über das Trächtigkeitsfeld ca. 1,2 °C stärker als über den restlichen Körper und ca. 2,2 °C stärker als über die Schenkel. Abb. "a": Tier nicht adaptiert; es kam direkt von der Außenanlage in den Stall. Außentemperaturen ca. 25 °C und Sonnenschein.



Datum: 17.12.1998

Ort: Zoo Leipzig (Stall)

Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m

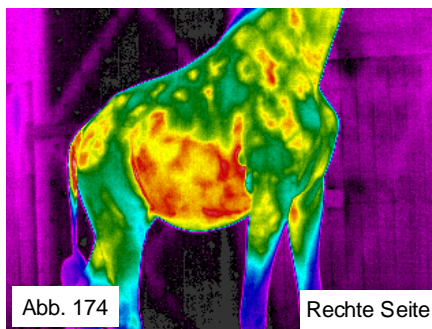


Abb. 174

Rechte Seite

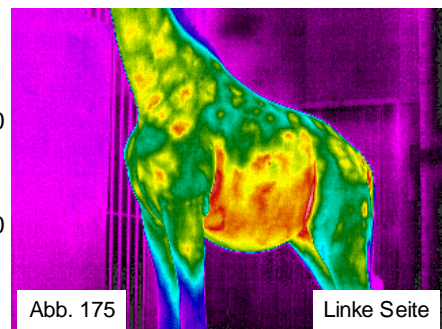


Abb. 175

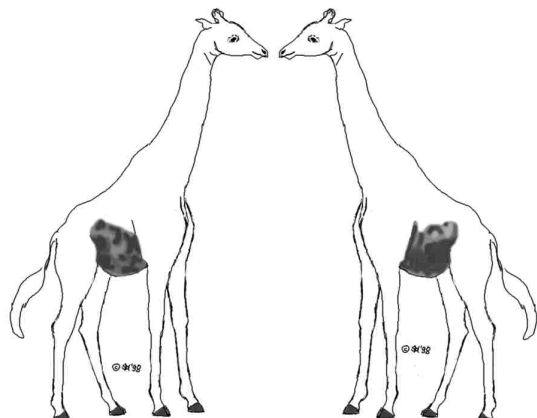
Linke Seite

Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	26,2 °C	25,7 °C
Trächtigkeitsfeld:	29,8 °C	29,7 °C
Hinterschenkel:	25,3 °C	25,2 °C

Abb. 174-175: Trächtigkeit Ende 12. Monat

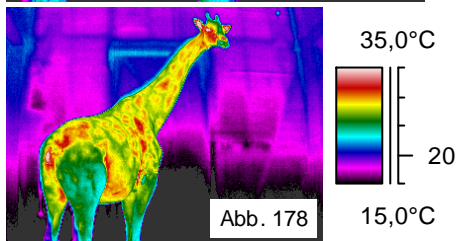
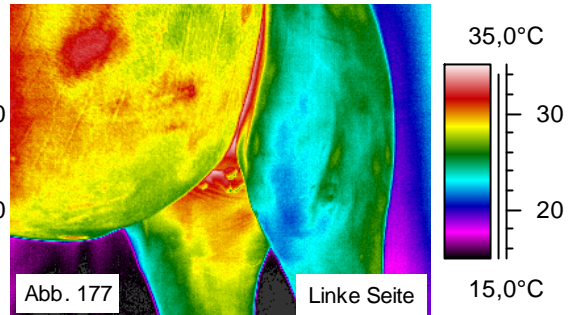
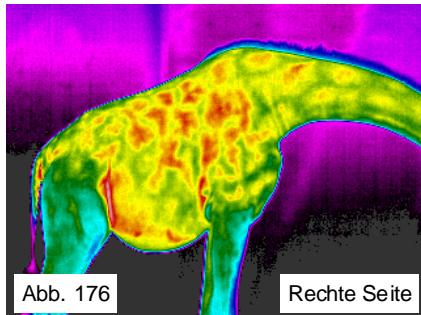
Vermehrte Wärmeabstrahlung über Unter- und Hinterbauch, über das Trächtigkeitsfeld ca. 3,6 °C stärker als über den restlichen Körper und ca. 4,5 °C stärker als über die Schenkel.



Fortsetzung der Serie

Datum: 17.3.1999 Ort: Zoo Leipzig (Stall)

Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	29,1 °C	--
Trächtigkeitsfeld:	29,2 °C	29,3 °C
Hinterschenkel:	24,7 °C	24,2 °C

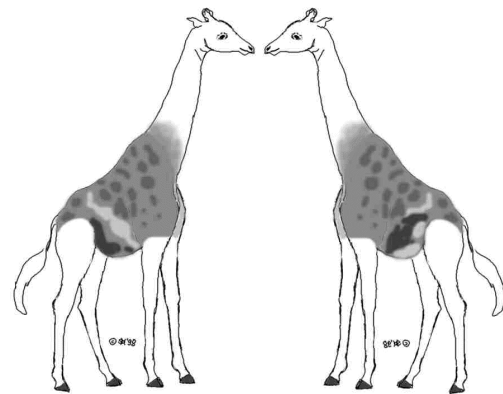
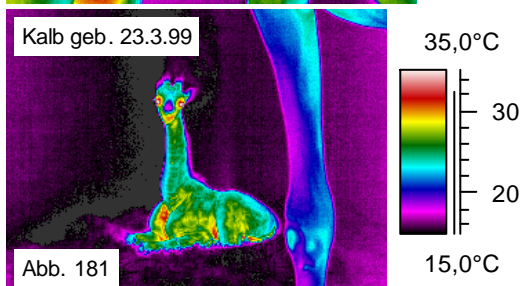
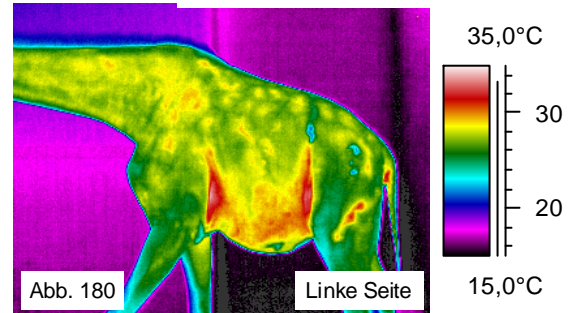
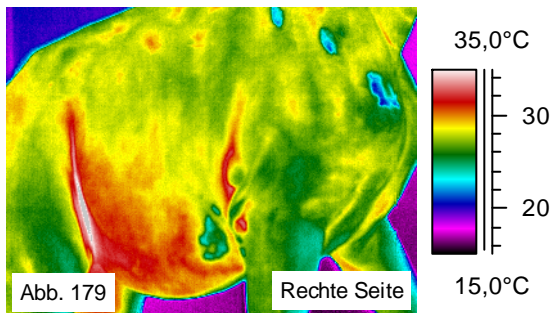


Abb. 176-178: Trächtigkeit im 15. Monat

Vermehrte Wärmeabstrahlung über Unter- und Hinterbauch, über das Trächtigkeitsfeld ca. 0,1 °C stärker als über Körper und ca. 4,8 °C stärker als über Schenkel.

Datum: 16.4.1999 Ort: Zoo Leipzig (Stall)

Umgebungstemperatur: 18 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links	Kalb
Körper:	27,8 °C	27,6 °C	26,4 °C
Trächtigkeitsfeld:	30,2 °C	29,4 °C	
Hinterschenkel:	26,3 °C	26,5 °C	

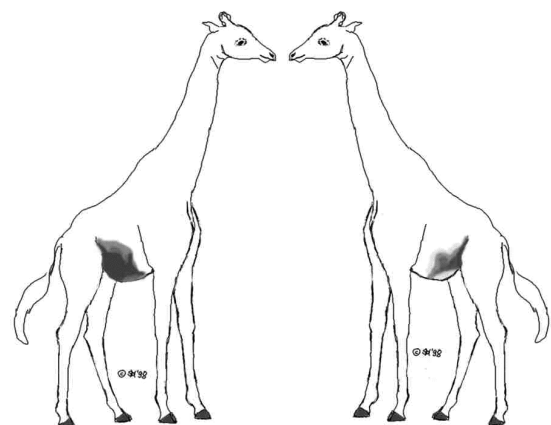
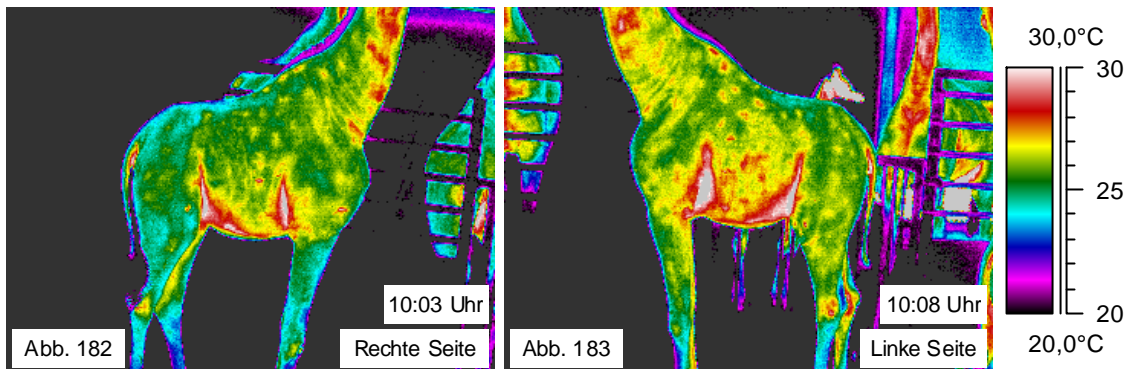


Abb. 179-181: Mutter im Puerperium und Kalb in 4. Lebenswoche

Vermehrte Wärmeabstrahlung über Unter- und Hinterbauch, über das Puerperalfeld ca. 1,2 °C stärker als über den restlichen Körper und ca. 1,3 °C stärker als über die Schenkel. Kalb strahlt weniger als Mutter.

Einzeluntersuchungen

Tier 3: Datum: 7.2.1998 Ort: Zoo Hohenhausen [Safaripark] (Stall) Umgebungstemperatur: 12,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m

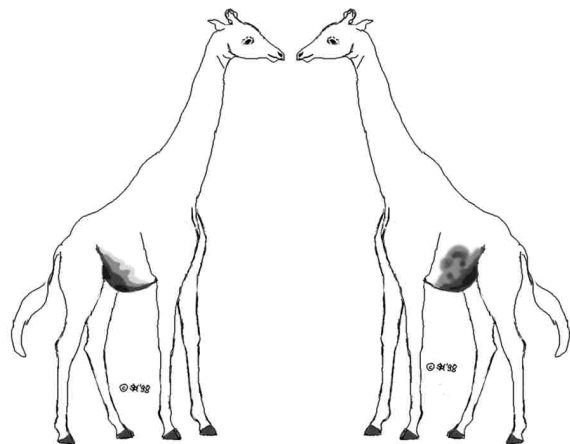


Infrarot-Befund:

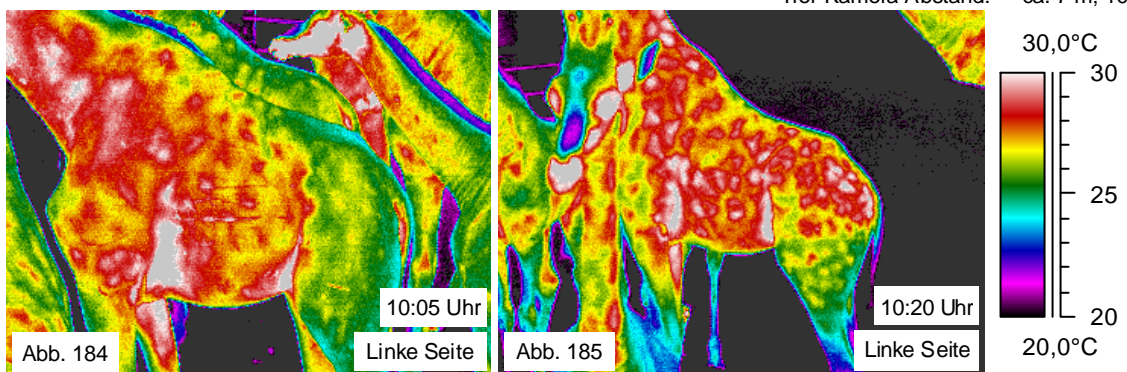
Körperseite:	rechts	links
Körper:	25,8 °C	26,4 °C
Trächtigkeitsfeld:	27,8 °C	28,3 °C

Abb. 182-183: Trächtigkeit im 6. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite um ca. 2,0 °C, der linken Seite ca. 1,9 °C stärker als über den restlichen Körper.



Tier 4: Datum: 7.2.1998 Ort: Zoo Hohenhausen [Safaripark] (Stall) Umgebungstemperatur: 12,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 7 m; 10 ,m

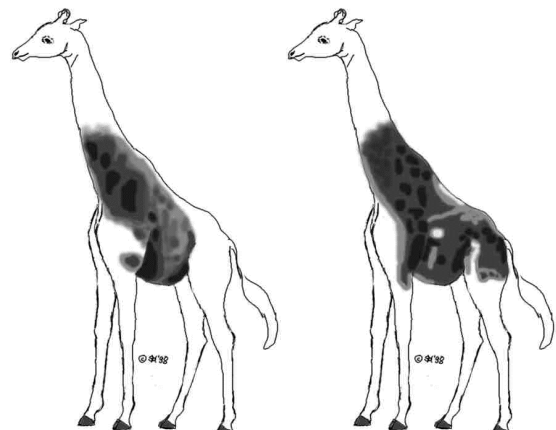


Infrarot-Befund:

Zeit:	10:05 Uhr	10:20 Uhr
Hinterschenkel:	26,1 °C	26,7 °C
Trächtigkeitsfeld:	28,4 °C	28,3 °C

Abb. 184-185: Trächtigkeit Ende 13. Monat

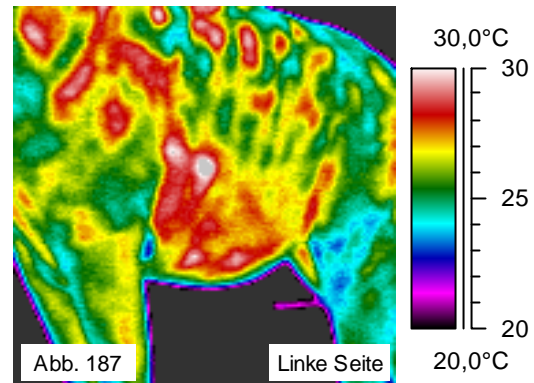
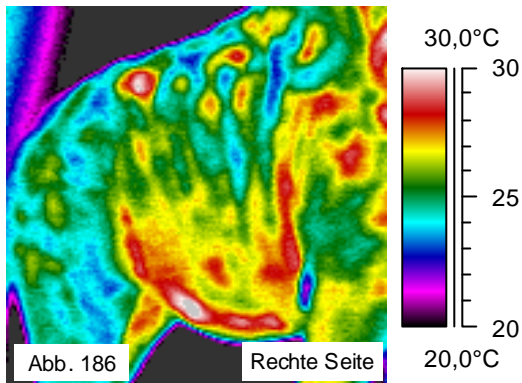
Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld auf der linken Seite ca. 2,3 °C stärker als über den Schenkel, nach 15 Minuten nur noch ca. 1,6 °C stärker. Ganzes Tier vermehrt warm. Dieses Phänomen wurde bei mehreren Tieren beobachtet (z.B. beim Leipziger Tier Abb. 176-178). Auf Grund von nervösem Umherlaufen erhöht sich die Abstrahlung über die Schenkel.



Einzeluntersuchungen

Tier 5: Datum: 28.8.1997 Ort: Zoo Marwell (Offenstall)

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



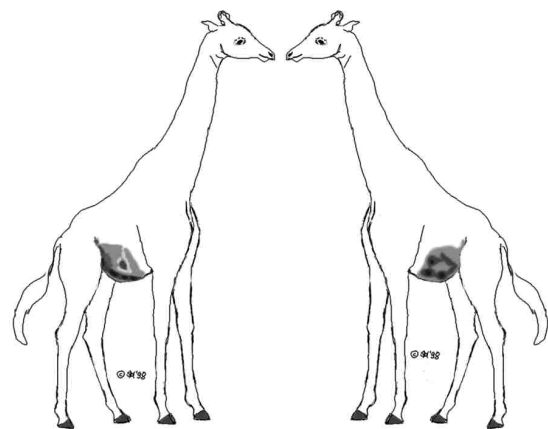
Mit Sonnenflecken auf dem Körper!

Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper::	25,1 °C	25,7 °C
Trächtigkeitsfeld:	27,8 °C	27,6 °C

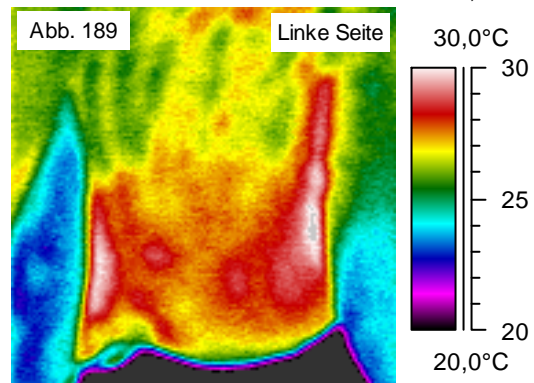
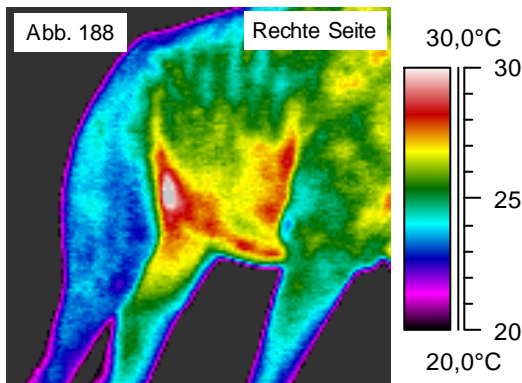
Abb. 186-187: Trächtigkeit Mitte 10. Monat

Trächtigkeitsfeld links nur am Unterbauch sichtbar, rechts ist es ausgedehnt und langgestreckt. Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 2,7 °C, der linken ca. 1,9 °C stärker als über den restlichen Körper.



Tier 6: Datum: 28.8.1997 Ort: Zoo Marwell (Offenstall)

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m; 3 m

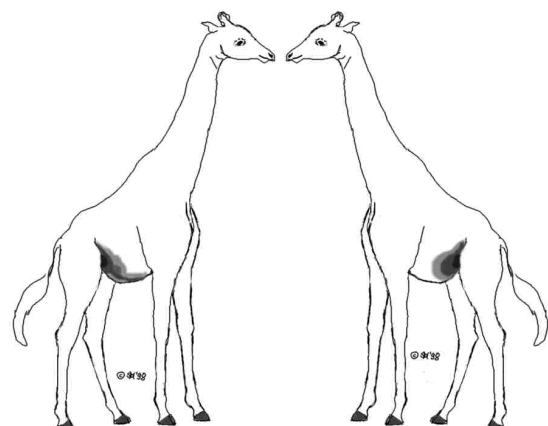


Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	25,2 °C	
Bauch:	26,1 °C	26,1 °C
Trächtigkeitsfeld:	27,1 °C	27,7 °C

Abb. 188-189: Trächtigkeit Ende 6. Monat

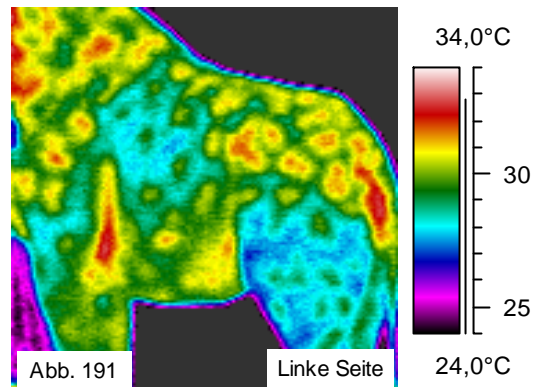
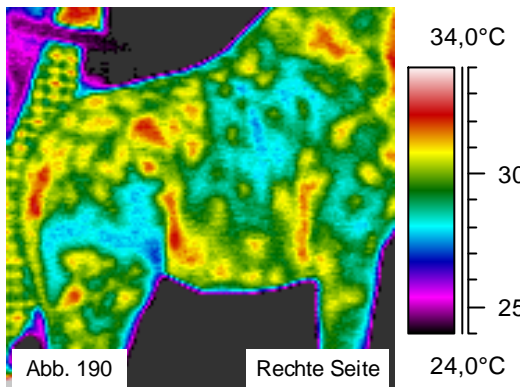
Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,9 °C, der linken ca. 2,5 °C stärker als über den restlichen Körper.



Einzeluntersuchungen

Tier 7: Datum: 2.7.1997 Ort: Zoo Berlin (Offenstall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m



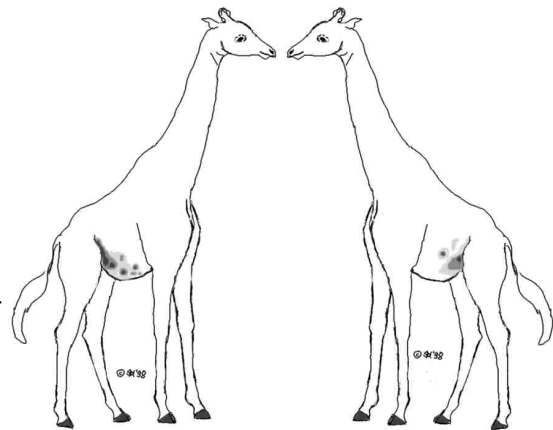
Mit Sonnenflecken auf dem Körper!

Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	29,0 °C	29,0 °C
Trächtigkeitsfeld:	31,1 °C	30,6 °C

Abb. 190-191: Trächtigkeit Ende 5. Monat

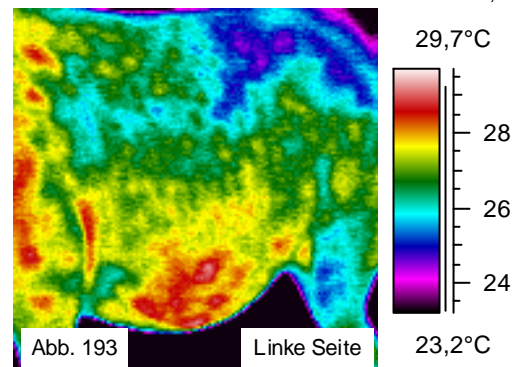
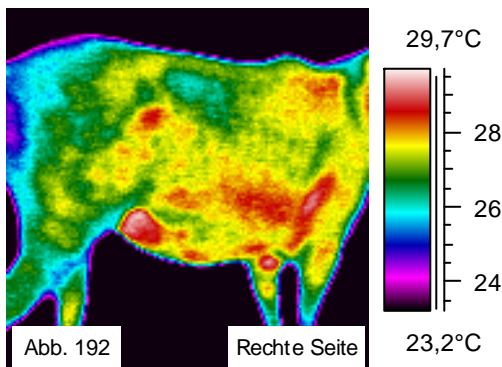
Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 2,1 °C, der linken ca. 1,6 °C stärker als über den restlichen Körper. Tier wegen schwerer Gelenkveränderungen euthanasiert. Trächtigkeitsdiagnose dabei bestätigt.



Tierart: Grevy-Zebra *Equus grevyi* Einzeluntersuchung

Tier 1: Datum: 28.8.1997 Ort: Zoo Marwell (Außenanlage)

Umgebungstemperatur: 22,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2,5 m



Infrarot-Befund:

Körperseite:	rechts	links
Körper:	26,8 °C	26,2 °C
Trächtigkeitsfeld:	27,9 °C	27,9 °C

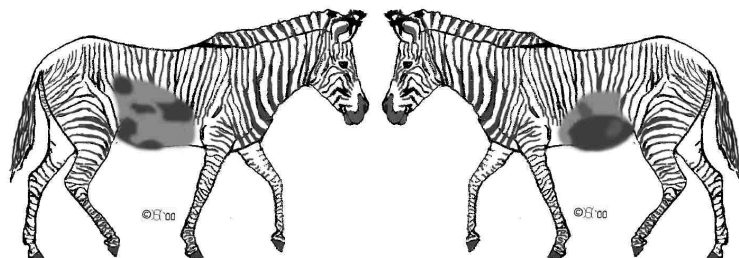


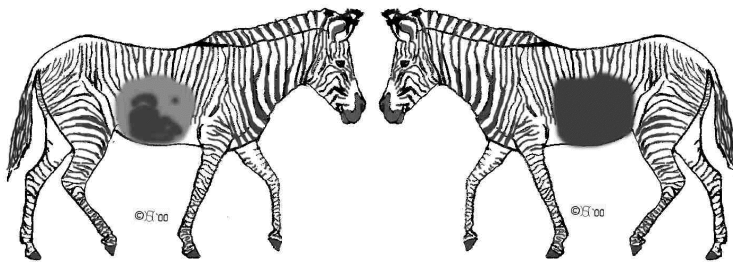
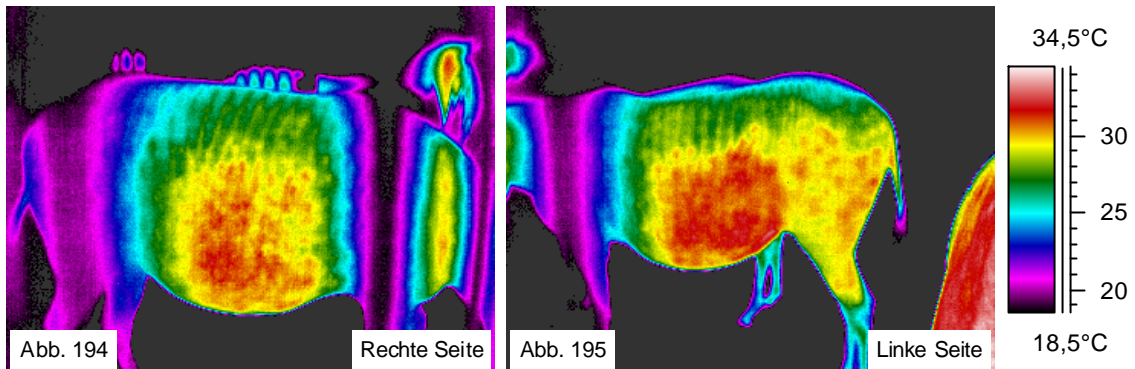
Abb. 192-193: Trächtigkeit im 11. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,1 °C, der linken Seite ca. 1,7 °C stärker als über den restlichen Körper.

Verlaufsuntersuchung

Tier 2: Datum: 17.3.1999 Ort: Zoo Leipzig (Stall)

Umgebungstemperatur: 15,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 1,5 m



Infrarot-Befund:

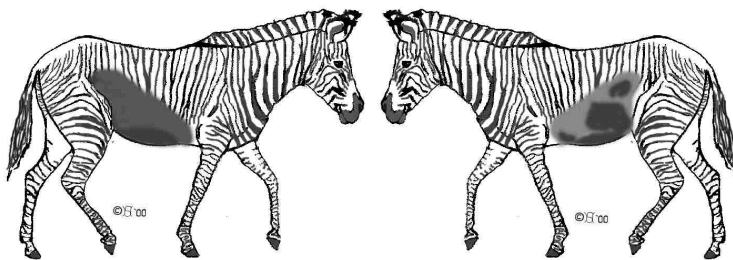
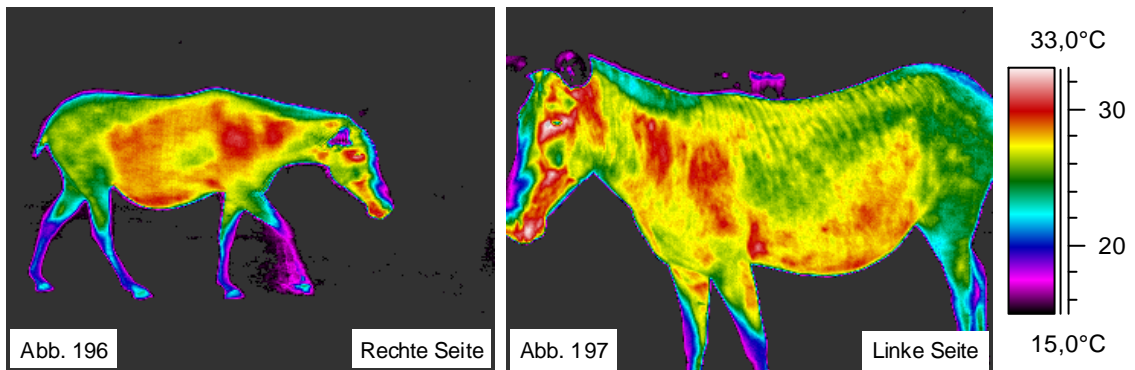
Körperseite:	rechts	links
Körper:	27,5 °C	28,0 °C
Trächtigkeitsfeld:	30,3 °C	31,0 °C

Abb. 194-195: Trächtigkeit im 12. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 2,8 °C, der linken Seite ca. 3,0 °C stärker als über den restlichen Körper. Gitterstäbe lenken Infrarot-Strahlen ab.

Datum: 16.4.1999 Ort: Zoo Leipzig (Außenanlage)

Umgebungstemperatur: 9,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3-5 m



Infrarot-Befund:

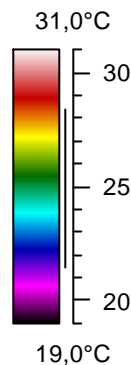
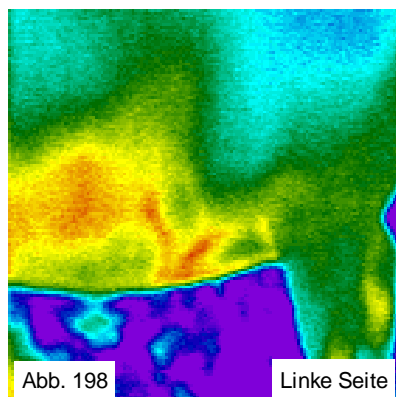
Körperseite:	rechts	links
Körper:	26,5 °C	26,2 °C
Trächtigkeitsfeld:	28,2 °C	28,2 °C

Abb. 196-197: Trächtigkeit im 13. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 1,7 °C, der linken Seite ca. 2,0 °C stärker als über den restlichen Körper.

Tierart: Hirscheber *Babyrousa babyrussa*

Trächtigkeitsverlauf



Datum: 4.3.1997 Ort: Zoo Berlin (Stall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m

Infrarot-Befund:

Körper: 24,2 °C

Trächtigkeitsfeld: 27,1 °C

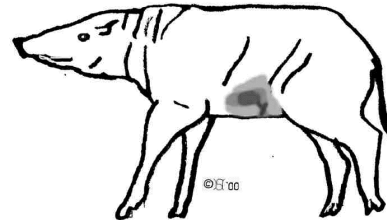


Abb. 198: Trächtigkeit Ende 4. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der linken Seite ca. 2,9 °C stärker als über den restlichen Körper.

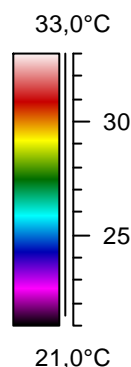
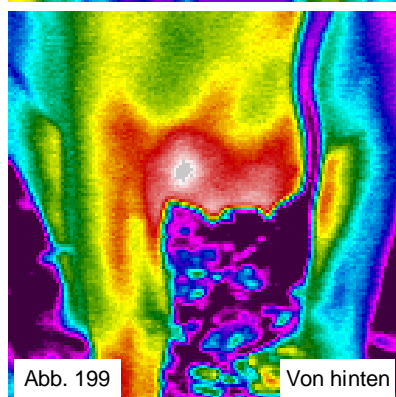


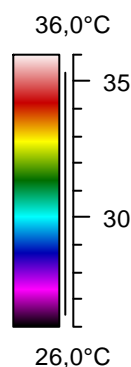
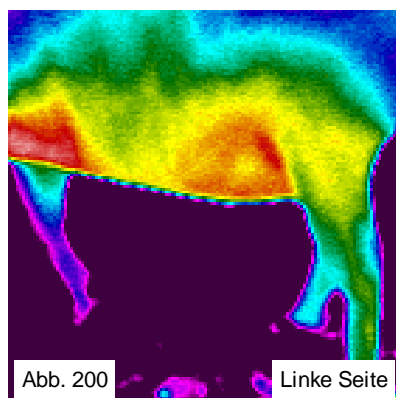
Abb. 199: Detail-Aufnahme von Abb. 198

Infrarot-Befund:

Euter: 31,7 °C

Abb. 199: Euter in Anbildung

Wärmeabstrahlung über das Euter ca. 7,5 °C stärker als über den restlichen Körper.



Datum: 19.3.1997 Ort: Zoo Berlin (Stall)

Umgebungstemperatur: 18,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m

Infrarot-Befund:

Körper: 29,6 °C

Trächtigkeitsfeld: 33,3 °C

Herzregion: 34,3 °C

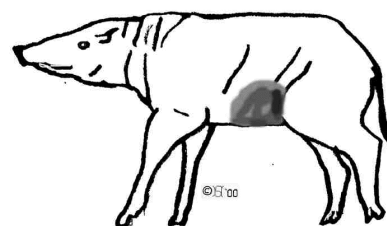
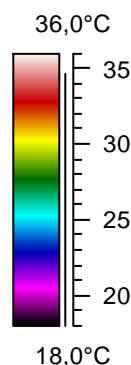
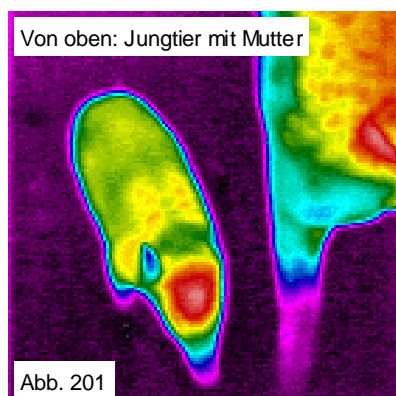


Abb. 200: Trächtigkeit im 5. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der linken Seite ca. 3,7 °C, über die Herzregion ca. 4,7 °C stärker als über den restlichen Körper (Geburt am 28.3.1997).



Datum: 05.05.1997 Ort: Zoo Berlin (Außenanlage)

Umgebungstemperatur: 16,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m

Infrarot-Befund:

Individuum: Ferkel Mutter

Körper: 29,3 °C 25,7 °C

Kopf: 32,7 °C --

Rückenfleck: 30,0 °C 31,4 °C

Abb. 201: Jungtier im Alter von 5 Wochen

Wärmeabstrahlung vermehrt über den Kopf des Jungtieres und den Rücken der Mutter.

Einzeluntersuchungen

Tierart: Zwergesel *Equus asinus f. asinus*

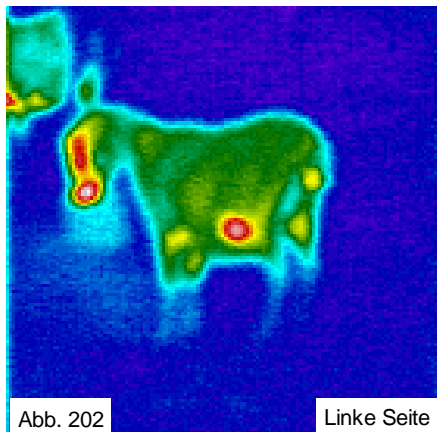


Abb. 202: Trächtigkeit ca. 10. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der linken Seite ca. 3,5 °C stärker als über den restlichen Körper.

Datum: 19.12.1996 Ort: Zoo Berlin (außen)

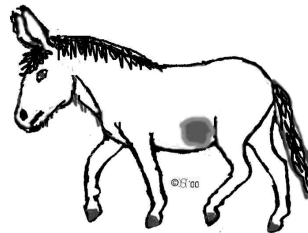
Umgebungstemperatur: 2,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m

Infrarot-Befund:

Körper: 9,8 °C

Trächtigkeitsfeld: 13,3 °C



Tierart: Zwergflußferd *Choeropsis liberiensis*

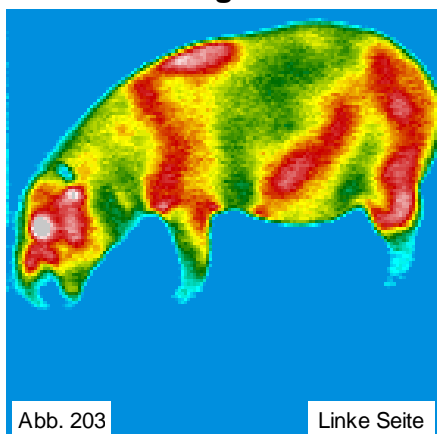


Abb. 203: Trächtigkeit im 6. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der rechten Seite ca. 2,4 °C stärker als über den restlichen Körper.

Datum: 30.8.1997 Ort: Zoo Basel (außen)

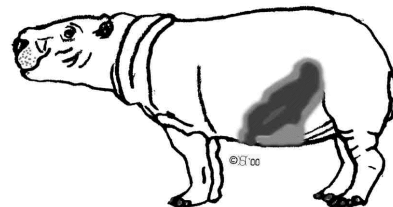
Umgebungstemperatur: 18 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m

Infrarot-Befund:

Körper: 21,0 °C

Trächtigkeitsfeld: 23,4 °C



Tierart: Südafrikanische Oryx *Oryx gazella gazella*

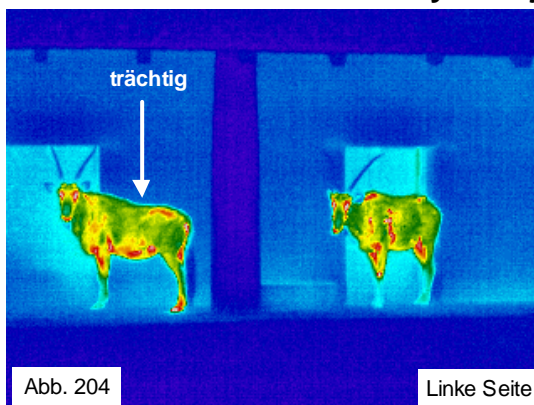


Abb. 204: Trächtigkeit ca. 6. Monat

Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld der linken Seite ca. 2,5 °C stärker als über den restlichen Körper.

Datum: 9.11.1998 Ort: Zoo Berlin (außen)

Umgebungstemperatur: 5,5 °C

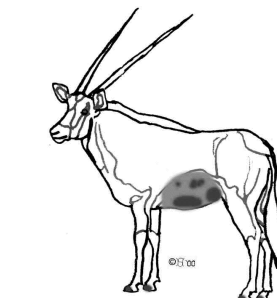
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m

Infrarot-Befund:

Tier: links rechts

Körper: 16,0 °C 15,5 °C

Trächtigkeitsfeld: 18,5 °C ---



6.2 Diskussion zu den Trächtigkeitsuntersuchungen mittels Infrarot-Thermographie

Rektaltemperatur-Differenzen zwischen nichtträchtigen und trächtigen Tieren sowie in Abhängigkeit von der Zyklusphase wurden schon von DIX (1963) festgestellt. Während des Zyklus trat eine typische bi-phasische Temperaturkurve auf, während der Trächtigkeit war die Temperatur kontinuierlich erhöht, bis kurz vor die Geburt, als sie wieder abfiel. RÖHLINGER und Kollegen (RÖHLINGER *et al.* 1979, RÖHLINGER 1983) nahmen diese Fragestellung teilweise auf. Sie analysierten den Einfluß der Trächtigkeit auf das Thermoprofil von Sauen und Kühen. Bei Sauen untersuchten sie mittels Infrarot-Kamera die Abstrahlung über die Vulva, bei Kühen die über das Euter. Spätere Untersuchungen mittels Handpyrometer konnten keine Ganzkörper-Thermoprofile mehr liefern, so daß Trächtigkeitsfelder bei diesen Tierarten von RÖHLINGER (1983) nicht erkannt werden konnten. RÖHLINGER hat aber sehr wohl deutliche Unterschiede der Wärmeabstrahlung über die Vulva von Sauen bei Vaginitis, Vulvitis, Östrus und Trächtigkeit festgestellt. EULENBERGER & KÄMPFER (1996) setzte die Infrarot-Thermographie erstmals 1994 bei Giraffen im Leipziger Zoo zur Trächtigkeitsdiagnostik ein. Die damals verwendete mit Stickstoff gekühlte Infrarot-Kamera „Thermovision AGA 750“ zeigte erste vielversprechende Ergebnisse. Die Auflösung der entstehenden Bilder war im Vergleich mit denen moderner Kameras noch ungenügend, so daß sie nicht publiziert wurden. Die vorliegende Arbeit und die daraus hervorgegangenen Publikationen sind demnach m.W. die ersten Veröffentlichungen zur Trächtigkeitsdiagnose mittels Infrarot-Kamera bei Tieren überhaupt. Eine Ultraschall-Untersuchung gilt zwar als nicht-invasiv, verlangt aber bei den meisten Zootieren entweder eine Narkose oder eine Fixierung (HILDEBRANDT *et al.* 1998). Die Infrarot-Thermographie ist auch in diesem Sinn wirklich nicht-invasiv. Das Tier wird nicht beeinträchtigt, merkt also von der eigentlichen Untersuchung nichts. Der Thermograph muß lediglich die Umweltbedingungen hinsichtlich Sonneneinstrahlung, Umgebungstemperatur oder Aktivitätspegel des Tieres beachten und die Untersuchungen entsprechend danach ausrichten.

In der Einleitung wurde die Hypothese aufgestellt, daß sich der wachsende Fötus mittels Infrarot-Thermographie an der Körperoberfläche des Muttertieres darstellen läßt, weil

1. auf Grund der Masse des Fötus die stark durchblutete Plazenta bzw. Gebärmutter an der Bauchwand des Muttertieres zum Anliegen kommt und weil
2. auf Grund der Wärmeproduktion im Stoffwechsel des Fötus vermehrt Wärme entsteht, die über die Bauchwand abgegeben wird.

Die Verlaufs- und Einzelfalldarstellungen bei zehn ausgewählten Tierarten zeigten, daß die Infrarot-Thermographie ein großes Potential in der Diagnose von Trächtigkeiten besitzt. Der Trächtigkeitsstatus war über die vermehrte lokale Wärmeabstrahlung an der Bauchwand der Mutter sogar über größere Distanzen hinweg bestimmbar. Die starke Durchblutung der Gebärmutter auf der einen und die Wärmeproduktion bzw. -abgabe aus fötalen Stoffwechselprozessen auf der anderen Seite verursachen Wärmefelder an der Bauchwand der Mutter, die als Trächtigkeitsfelder (relativ) sicher erkennbar werden.

Tierartspezifisch entzieht der Fötus aus dem Stoffwechsel der Mutter energiereiche Verbindungen wie z.B. Fettsäuren, Kohlehydrate oder kurzkettige Proteine. Beim Um-

wandeln dieser Grundnährstoffe in z.B. Muskelgewebe, Knochen oder andere Organ-
gewebe entsteht als Nebenprodukt auch Wärme (Restwärme), die als Wärmeenergie
freigesetzt wird (SILBERNAGEL & DESPOPOULOS 1991).

Die Wärmeenergie des fötalen Stoffwechsels belastet den Stoffwechsel des trächtigen
Muttertieres. Das tragende Tier muß versuchen, die fötale Wärmequelle zu neutralisie-
ren oder zu nutzen. In kühler Umgebung kann das tragende Tier die Wärmequelle für
die eigene Körperwärme nutzen. Bei mittleren Umgebungstemperaturen wird das tra-
gende Tier versuchen, die Wärme auf dem Weg des geringsten Widerstandes lokal ab-
zugeben. Bei hohen Temperaturen kann das trächtige Tier versuchen, seine gesamte
Körperoberfläche zur Neutralisation der fötalen Wärmequelle zu nutzen. Für die Träch-
tigkeitsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie bedeutete dies, daß sowohl sehr kalte
als auch sehr warme Umgebungstemperaturen für die Messung ungünstiger waren. In
einer warmen Umgebung war die Differenz zwischen der Wärmequelle Fötus und der
Oberflächentemperatur des trächtigen Muttertiers geringer und die Lokalisierung des
Trächtigkeitfeldes dadurch schwieriger. Wie die Erfahrung bei Erstellung dieser Arbeit
zeigt, waren Temperaturen zwischen 10 und 18 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit
von unter 70 % für Trächtigkeitsdiagnosen ideal, wenn sich das zu untersuchende Tier
zuvor an dieses Klima über eine, besser zwei Stunden angepaßt hatte. Wichtig war
weiter, daß sich das Tier ruhig verhielt, d.h. weder körperlich während oder kurz vor
der Untersuchung überdurchschnittlich aktiv war oder sich in einem außergewöhnlichen
Streßzustand befand.

Position und Ausdehnung der Trächtigkeitfelder waren tierartspezifisch, da die Lage
des Fötus von den anatomischen Besonderheiten einer Tierart abhängig ist. Der Pansen
der Wiederkäuer konnte z.B. erst durch einen schwereren Fötus nach kranial verdrängt
werden. In einem frühen Entwicklungsstadium konnte der Fötus eines Nashorns auf
Grund seines geringen Gewichtes noch auf den Kolonlagen der Mutter liegen. Im Laufe
der Trächtigkeit veränderte er seine Lage nach ventral, da sein zunehmendes Gewicht
eine Lage auf den Kolonlagen der Mutter nicht mehr zuließ. Er verlagerte sich in Rich-
tung auf die untere Bauchwand, indem er „abrutschte“ und dabei das Kolon verdrängte.

Nashörner

Im Gegensatz zu den Annahmen von EULENBERGER & KÄMPFER (1994) eignen
sich dickhäutige Tiere doch zur Thermographie. Dickhäuter wie Nashörner oder Ele-
fanten regulieren ihre Oberflächentemperatur direkt über die Haut, also nicht über ein
Fell als Isolierschicht zwischen Körper und Umwelt. Nashörner haben eine ca. 1 mm
dicke Epidermis über der ca. 2 cm dicken Dermis. Die Dermis ist fest und kollagenreich
und wird in gleichmäßigen Abständen von Blutgefäßen in Richtung Epidermis durch-
zogen. Unter der Epidermis befinden sich zahlreiche, große Schweißdrüsen, die mit gut
ausgebildeten Myoepithelien ausgerüstet sind (ALLBROCK *et al.* 1958). Die Anwe-
senheit von Schweißdrüsen wird von HILEY (1977) bestätigt. NELSON & FOWLER
(1986) sowie GÖLTENBOTH (1995a) berichten von einer stark vaskularisierten Haut
der Nashörner. Nach LANGMAN (1983) können haarlose, dickhäutige Tiere ihre
Oberflächentemperatur gezielter regulieren als Tiere mit Fell.

Allen Nashornarten ist gemeinsam, daß die Trächtigkeit eines Tieres nicht oder kaum
von außen durch einen vermehrten Körperumfang sichtbar wird (WIELANDT 1997).
Die Haut der Nashörner ist fest und nicht, wie z.B. bei Elefanten oder Giraffen, merk-
lich dehnbar. Die über die Zervix fest verschlossene Gebärmutter stellt einen flüssig-

keitsgefüllten Körper im Bauchraum des Muttertieres dar. Umgrenzte, flüssige Körper lassen sich nicht zusammendrücken. Der wachsende Fötus und die gefüllte Plazenta beanspruchen daher im Laufe der Trächtigkeit immer mehr Platz in der Bauchhöhle. Dort entstehen Platzmangel und ein erhöhter Innendruck, da eine Dehnung der Haut ja nicht möglich ist. Für die Infrarot-Thermographie hat dies den Vorteil, daß der Fötus eng an die mütterliche Bauchwand gepreßt wird. Es entstehen lokale Wärmefelder, die im Laufe der Trächtigkeit in Abhängigkeit vom Wachstum des Fötus in ihrer Ausdehnung zunehmen. Durch das Anliegen der warmen Gebärmutter mit dem stoffwechselaktiven Fötus an der Bauchwand der Mutter kann die Wärme von Gebärmutter und Fötus mittels Konduktion direkt über die Haut nach außen abgegeben werden. Dies ist im Infrarot-Bild in der entsprechenden Bauchregion als Wärmefeld (Trächtigkeitsfeld) sichtbar.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen an einem Spitzmaulnashorn (*Diceros bicornis*) und einem Grevy-Zebra des Berliner Zoologischen Gartens (HILSBERG *et al.* 1997) konnten durch Folgeuntersuchungen an diesen und anderen Tieren und Tierarten bestätigt werden (HILSBERG 1997, HILSBERG & EULENBERGER 1997, HILSBERG 1998a). Es folgten Untersuchungen in anderen Zoologischen Gärten mit weiteren Bestätigungen, daß die Infrarot-Thermographie zur Trächtigkeitsdiagnostik unter bestimmten Bedingungen geeignet ist (HILSBERG 1998b). Wie die Infrarot-Bilder (Abb. 101-135) und die zugehörigen schematischen Darstellungen bei Spitzmaulnashörnern erkennen lassen, war der Verlauf einer Trächtigkeit mit der Zunahme der Ausdehnung des Trächtigkeitsfeldes unter Idealbedingungen deutlich belegbar. Bei Spitzmaulnashörnern dauert die Trächtigkeit ca. 454 Tage (GÖLTENBOTH 1995b). Ab einem gewissen Alter des Fötus bzw. einem gewissen Wachstumsstadium und Gewicht erstreckte sich das Trächtigkeitsfeld nicht nur auf der einen Körperseite, hier der rechten, sondern reichte auch auf die linke Körperseite hinüber. Nach den Ergebnissen der Infrarot-Thermogramme lag der Fötus mit geringem Gewicht zunächst auf den großen Kolonlagen (z.B. Abb. 101). Dies wurde später auch bei Breitmaul- (z.B. Abb. 141) und Panzernashorn (Abb. 144) beobachtet. Im 10. Trächtigkeitsmonat dehnte sich das Trächtigkeitsfeld in Richtung ventraler Bauchwand aus (z.B. Abb. 102) und nahm später große Teile des Unterbauches mit ein (z.B. Abb. 105-106).

Die jeweilige Bewegungsaktivität des Nashorns hatte ebenfalls Einfluß auf die Darstellung des Trächtigkeitsfeldes im Infrarot-Thermogramm. Bei dem viel nervöseren bzw. agileren Tier des Leipziger Zoos waren die Muskeln der Beine durch das Traben und Galoppieren stark erwärmt (Abb. 121-122). Nach CLARK *et al.* (1977) gaben Tiere mit starker Muskelaktivität verstärkt Wärme über die Haut ab. Bei dem Nashorn in Berlin wurde diese Art der Aktivität trotz Aufenthaltes auf der Außenanlage während der Trächtigkeit beim Thermographieren nie beobachtet (Abb. 108-109). Diese Aktivität des Leipziger Tieres erschwerte die Untersuchung. Bis dahin gab es keine Vergleichsmöglichkeit über den Einfluß der Bewegung auf die Trächtigkeitsuntersuchung. Über Futter war versucht worden die Tiere nah an die Kamera zu locken, um die Dauer der Untersuchung aus Kostengründen zu reduzieren. Die Tiere gerieten durch diese ungewöhnliche Fütterung in starke Erregung und trabten und galoppierten in der Gruppe über die Außenanlage. Später zeigte sich, daß die Maßnahme des Fütterns durch die damit verbundene Beunruhigung der Tiere ein Fehler gewesen war. Die Thermogramme der zweiten Trächtigkeit des gleichen Leipziger Nashorns zeigten viel deutlichere Trächtigkeitsfelder (Abb. 125-128). Das Tier war diesmal nicht beeinflusst worden.

Wie vermutet und wie die Bilder aus Berlin und Leipzig dokumentieren, spielte die Umgebungstemperatur für die Trächtigkeitsuntersuchung eine Rolle. Im Nashornhaus in Leipzig, d.h. im Stall, herrschten Temperaturen zwischen 22 und 24 °C. Diese der Körperoberfläche ähnliche Umgebungstemperatur erschwerte die Trächtigkeitsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie. Die besseren Untersuchungsergebnisse wurden daher in Leipzig auf größere Distanzen auf der Außenanlage erzielt. Während der Untersuchungen im Zoo Dvur Králové in Tschechien herrschten Temperaturen von 31 °C auf der Außenanlage und von 20 °C im Stall. Da die Tiere nicht genügend an den Stall akklimatisiert waren, oder sich auf der Außenanlage in praller Sonne oder im Schatten aufhielten, machte dies die Beurteilung schwierig.

Ähnliche Erfahrungen wurden auch bei Untersuchungen an Breitmaulnashörnern im Serengeti Safaripark Hodenhagen (Zoo Hodenhagen) gemacht. Die Tiere liefen nervös im Stall umher und scheuerten ihre Haut an der Wand. Die so entstehenden Hautläsionen waren in den Thermogrammen sichtbar. Nashörner gelten als sehr nervöse Tiere, die jede Veränderung in ihrem Tagesablauf, besonders den Aufenthalt fremder Personen, mit Streßreaktionen beantworten (WIELANDT 1997). Die Trächtigkeitsfelder waren in den Infrarot-Aufnahmen unter den stressfreien Bedingungen auf der Außenanlage deutlicher sichtbar (Abb. 136-143). Sowohl bei kühlen Temperaturen (12 °C) im Winter im Stall als auch bei mittelwarmen Umgebungstemperaturen (18 °C) im Sommer auf der Außenanlage ließ sich die Trächtigkeit bei zwei Individuen darstellen. Bei Breitmaulnashörnern dauert die Trächtigkeit ca. 530 Tage (GÖLTENBOTH 1995b). Die vermehrte Wärmeabstrahlung über die Hinterschenkel deutete auf vermehrte Laufaktivität der Tiere auf der Außenanlage hin. Bei dem zweiten Breitmaulnashorn lag der Fötus im 13. Trächtigkeitsmonat tiefer als bei dem ersten im 15. Monat.

Auch bei einem Panzernashorn ließ sich die Trächtigkeit trotz erschwelter Umweltbedingungen mittels Infrarot-Thermographie erkennen (Abb. 144-145). Mit 23 °C Umgebungstemperatur und ca. 80 % Luftfeuchtigkeit herrschte ein tropisches Klima vor, wodurch die Konturen des Trächtigkeitsfeldes stark verwischten. Bei Panzernashörnern dauert die Trächtigkeit ca. 477 Tage (GÖLTENBOTH 1995b). Das untersuchte Tier befand sich im 10. Trächtigkeitsmonat. Bei besseren Untersuchungsbedingungen hätte sich, auch im Vergleich mit den anderen Nashornarten, sicher ein deutlicheres Trächtigkeitsfeld darstellen lassen. In Zukunft sollte auch bei dieser Tierart eine kühlere Umgebungstemperatur und eine geringere relative Luftfeuchtigkeit bei einer Untersuchung angestrebt werden.

Die hier vorgestellten Beispiele zeigen, in welche Richtung zukünftige Untersuchungen zielen sollten. Der Einfluß der Umgebungstemperatur und der Bewegung auf die Sicherheit der Trächtigkeitsdiagnostik muß näher ermittelt werden. Bei Untersuchungen in Zoologischen Gärten könnte vor der Untersuchung ein detailliertes Anweisungsprotokoll an die Tierpfleger gegeben werden, wann ein Tier in den Stall und wann es auf die Außenanlage gebracht werden sollte. Die Möglichkeit, die Untersuchungsbedingungen in einem Zoo zu verändern, besteht in den meisten Institutionen. Schwieriger wird dies bei Freilanduntersuchungen, gute Bedingungen können aber auch dort durch die Wahl des Untersuchungszeitraumes gefunden werden (siehe Diskussionen zu Kapitel 8).

Während der Untersuchungen zur Physiologie diverser Säugetiere des Brookfield Zoos in Chicago beobachtete PHILLIPS (1992) bei Spitzmaulnashörnern ab und zu Wärme-

flecken, die sie nicht interpretieren konnte. Im Gegensatz zu denen bei Elefanten beobachtete PHILLIPS diese Flecken bei den Nashörnern nur sporadisch. Nach dem „Internationalen Zuchtbuch für Afrikanische Nashörner“ wurden in diesem Zoo im Untersuchungszeitraum der Master's und Ph.D. Dissertationen von PHILLIPS zwei Spitzmaulnashörner geboren: SB* 0396 „Miadi“ am 4.11.1988 und SB 0444 „Akili“ am 7.3.1991 (GÖLTENBOTH & OCHS 1999). Die Wahrscheinlichkeit, daß es sich bei der „Fleckenbildung“ um Trächtigkeitsfelder gehandelt hat, ist nach den Untersuchungsergebnissen der vorliegenden Arbeit hoch. Die lange Tragzeit bei Spitzmaulnashörnern stützt diese Annahme. Eine nähere Beschreibung der Lokalisation der Flecken, ihrer Größe oder gar eine Abbildung wurden nicht gegeben. Auch die Namen oder die Zuchtbuch Nummern der Individuen, die diese Flecken aufwiesen, wurden nicht erwähnt. So kann diese Aussage nur eine Vermutung bleiben.

Über gleichzeitig durchgeführte Kot-Hormon-Analysen konnten die Thermogramme der Leipziger Tiere während der Trächtigkeit verifiziert werden. Bei den Tieren anderer Zoos mußte auf die Geburt des Kalbes gewartet werden, um die Diagnose zu bestätigen. Im Falle der zweiten Trächtigkeit des Leipziger Nashorns in Abbildung 125 und 126 war die Diagnose „trächtig“ jedoch allein auf Grund der Thermographie und nicht über Hormonanalysen gestellt worden. Die Kotuntersuchungen konnten damals durch Personalmangel nur in größeren Abständen durchgeführt werden. Die in Leipzig verwendete Methode der Kot-Hormon-Analyse arbeitete aber einem ähnlichen Prinzip wie die von SCHWARZENBERGER *et al.* (1993).

Elefanten

Die meisten Tierarten haben, wie auch der Elefant, eine elastische Haut. Der Bauch kann sich im Verlauf der Trächtigkeit entsprechend ausdehnen. Durch die Flexibilität der Haut können jedoch keine so stark lokalisierten bzw. konturierten Trächtigkeitsfelder wie bei Nashörnern entstehen. Trächtigkeitsfelder waren aber trotzdem gut erkennbar und stellten bei ihnen und anderen vergleichbaren Tierarten meist zusammenhängende Wärmeareale dar. In Abhängigkeit von der jeweiligen Tierart erstreckten sie sich über bestimmte Regionen des Bauches.

Bei Asiatischen Elefanten wurde zunächst eine hochträchtige Kuh des Zoologischen Gartens Zürich untersucht (Abb. 146-151). Das Trächtigkeitsfeld dehnte sich bei ihr zwischen der Herzregion im ventral-kranialen Körperbereich diagonal zum kaudal gelegenen dorsalen Becken hin aus. Diese Lokalisation des Trächtigkeitsfeldes konnte bei Elefanten ab dem 17. Trächtigkeitsmonat beobachtet werden (Abb. 158-159). In früheren Graviditätsstadien war das Feld nur am Unterbauch zu erkennen (Abb. 162-163), bzw. war verstärkt am Unterbauch sichtbar mit beginnender Ausdehnung über die seitliche Bauchwand (Abb. 160-161).

Die Trächtigkeiten dauern bei Asiatischen Elefanten zwischen 20 und 23 Monaten. Bei Elefanten befindet sich die Milchdrüse zwischen den Vorderbeinen. Sie wird in den letzten 1-2 Monaten der Gravidität - manchmal bei älteren Kühen auch später - angebildet (RÜEDI 1995). Umbaureaktionen zum Aufbau von Milchgewebe bewirken eine vermehrte Wärmeproduktion und -abgabe. Eine Woche vor der Geburt stellte sich die Milchdrüsenregion bei der untersuchten Elefantin mit mehr als 5 °C stärkerer Wärmeabstrahlung als über den restlichen Körper dar (Abb. 147). Auch die Füße dieser

* SB = Studbook number (Zuchtbuch Nummer)

Elefantenküh waren durch verstärkte Wärmeabstrahlung gekennzeichnet (Abb. 146). Dies mag daran gelegen haben, daß der Fötus schwer war. Bei seiner Geburt wog das Neugeborene 140 kg. Gewichte für geburtsreife Föten werden mit zwischen 50 und 150 kg angegeben (RÜEDI 1995). Durch diesen Fötus bestand eine starke Belastung des mütterlichen Stützapparates. In Ansätzen wurde Ähnliches schon im 19. Trächtigkeitsmonat bei der primiparen Elefantin des Berliner Zoos beobachtet (Abb. 154-155). Ihr Kalb wog bei der Geburt 150 kg. Die Trächtigkeit ließ sich bei diesem Jungelefanten besonders gut darstellen, da Vergleichsaufnahmen aus dem Zeitraum von zweieinhalb Jahren vorher vorlagen (Abb. 152-153). Bei gleichen Umweltbedingungen im Stall war die Wärmeabstrahlung im letzten Drittel der Trächtigkeit um 4-6 °C stärker als vorher. Die Bilder dieser trächtigen Elefantin waren die ersten, in denen die neue, hochauflösende und ungekühlte Thermographie-Kamera „Thermovision® 570“ bei Elefanten zum Einsatz kommen konnte. Die Bilder machen die höhere Auflösung der Aufnahmen und somit den qualitativ besseren Einsatz der Infrarot-Thermographie deutlich.

Zwei Elefantenkühe des Zoo Chester (Abb. 156-159) waren viele Stunden auf der Aus- senanlage und kamen erst direkt vor den Trächtigkeitsuntersuchungen in den Stall. Die notwendige Adaptation der Tiere über einen Zeitraum von mindestens ein bis zwei Stunden war nicht einzuhalten. Die Trächtigkeitsfelder bei dem tragenden Tier waren mittels Thermographie zwar sichtbar, aber längst nicht so klar abgrenzbar, wie das bei besserer Akklimatisierung der Fall sein sollte (Abb. 158-159). Zum Vergleich ist ein nichtträchtiges Tier bei gleichen Umweltbedingungen dargestellt (Abb. 156-157).

Bei den Elefanten des Tierparks Berlin-Friedrichsfelde (Abb. 160-163) zeigte sich bei einem Tier im zweiten Drittel der Trächtigkeit, daß sich der Fötus unter günstigen Untersuchungsbedingungen sehr gut an der Bauchunterseite nachweisen ließ. Bei diesen Untersuchungen bestand außerdem der glückliche Umstand, daß sich der Fötus offensichtlich gerade bewegte, was im Verlaufs-Thermogramm und auf dem Videomitschnitt zu sehen war. Frühzeitigere Trächtigkeiten ließen sich mittels Infrarot-Thermographie ebenfalls darstellen. Hierfür konnten jedoch bislang nur wenige Untersuchungen durchgeführt werden. Es besteht dringender Forschungsbedarf. Eine Elefantenkuh des Tierparks Berlin war zum Untersuchungszeitpunkt im 9. Monat trächtig, wie sich bei späteren Blutuntersuchungen herausstellte (STRAUSS 1997) (Abb. 162-163). Bei ihr ist im Thermogramm nur am Unterbauch eine vermehrte Wärmeabstrahlung sichtbar. Ob sich entzündete Organe, z.B. Leber oder Darm, oder intensive Wärmebildung im Darm während der Verdauung auch in dieser Weise darstellen würden, müssen zukünftige Untersuchungen klären. Es stand kein kranker Elefant zur Verfügung. Bei einigen Tieren konnten aber Wärmeflecken am Körper beobachtet werden, die nach kurzer Zeit wieder verschwanden. Auch PHILLIPS (1992) hat Fleckenbildung bei Elefanten im Brookfield Zoo beobachtet. Sie diskutiert die Möglichkeit, daß Elefanten einzelne Blutgefäße, die zur Hautoberfläche führen, gezielt erweitern und dadurch die Durchblutung des korrespondierenden Hautareals erhöhen könnten. Dadurch könnte der Elefant seine Körpertemperatur gezielt regulieren. Eine lokalisierte Erhöhung der Durchblutung bestimmter Hautareale bei niedrigen Umgebungstemperaturen ist z.B. auch vom Schwein bekannt (IRVING 1956). Schweine haben, je nach Art und Rasse, eine flexible und spärlich behaarte bzw. fast haarlose Haut. Über diese konnten sie gezielt ihre Körpertemperatur regulieren (IRVING *et al.* 1956). Versuche zur Thermophysiologie bei Elefanten wären hier dringend angebracht. Auch Langzeituntersuchungen an Elefanten und anderen Tierarten sind nötig, um solche und andere mögliche Fehlerquellen bei einer Trächtigkeitsuntersuchung erkennen und eindämmen zu können. Hierfür ist eine kontinuierlich

verfügbare Infrarot-Kamera nötig, was für die vorliegende Arbeit (aus Kostengründen) leider nicht möglich war.

Giraffen

Wie die Infrarot-Bilder (Abb. 164-167; 170-181) zeigen, ließ sich bei der Giraffe im Zoo Leipzig der Verlauf einer Trächtigkeit ebenfalls darstellen. Der Untersuchung kam die kurze Behaarung dieser Tierart zugute. Bei Giraffen dauert die Trächtigkeit ca. 455 Tage (MATERN & KLÖPPEL 1995). Die Thermographie-Serie führt vom Puerperium über ungefähres Konzeptionsdatum und verschiedene Stadien der Trächtigkeit wiederum bis zum Puerperium. Trächtigkeitsfelder waren bei dieser Giraffe vom Ende des 4. Trächtigkeitsmonats an auf beiden Seiten zu erkennen. Auf der rechten Seite hatten sie eine breitere Ausdehnung als auf der linken. Erst gegen Ende der Gravidität waren sie beiderseits gleich weit ausgedehnt. Eine Woche vor dem Kalben ließ der gesamte Körper, d.h. Rumpf und Hals bis zum Kopf, eine fast gleichmäßig intensive Wärmeabstrahlung erkennen. Ausnahmen bildeten nur die Vorder- und Hinterbeine, besonders der Hinterschenkel (Abb. 176-178). Die Wärmeabstrahlung über das Trächtigkeitsfeld bzw. den Körper war 4-5 °C höher als über die Hinterschenkel.

Die Bilder der Leipziger Giraffe vom Ende September 1998 (Abb. 172a-173b) zeigen deutlich, wie wichtig für Infrarot-Untersuchungen eine ausreichende Temperaturanpassung wäre. Bevor das Tier für die Untersuchung in den Stall kam, war es für einige Stunden bei sehr viel wärmeren Umgebungstemperaturen und starker Sonneneinstrahlung auf der Außenanlage gewesen. Die Trächtigkeit konnte dann nur über eine verkleinerte Temperaturspanne in der Infrarot-Kamera und im Bild sichtbar gemacht werden (Abb. 172a-173a).

Die Befunde aus den Thermogrammen konnten über gleichzeitig durchgeführte Kot-Hormon-Analysen bestätigt werden. Die Leipziger Giraffe „Jubilee“ wird bereits seit 1994 mittels Infrarot-Thermographie auf Trächtigkeit untersucht, so daß bisher drei Trächtigkeiten verfolgt werden konnten. Der hier abgebildete Trächtigkeitsverlauf entsprach dem früherer Trächtigkeiten (EULENBERGER & KÄMPFER unveröffentlicht). Auch hier haben auf Grund der fortschrittlichen Technik die neueren Bilder eine höhere Auflösung und eignen sich besser zur Darstellung von Details.

Zum Vergleich mit der trächtigen Giraffe des Zoo Leipzig sind in den Abbildungen 168-169 Infrarot-Thermogramme des Giraffenbullens der gleichen Institution dargestellt. Die Wärmeabstrahlung am Bauch des Bullen war vergleichbar mit der der Giraffenkuh in den Abbildungen 166 und 167. Der Bulle kam gerade von der Außenanlage in den Stall, war nervös und bewegte sich hauptsächlich an der entlegenen Wand entlang. Seine Oberflächentemperatur war durch die Nervosität, die fortlaufende Bewegung und die Nachwirkung der Sonnenbestrahlung von dem Außenaufenthalt leicht erhöht. Der Einfluß von Streß wurde im vorhergehenden Kapitel an einem Elefanten sowie in diesem Kapitel an dem Leipziger Nashorn ausführlich besprochen. Auffällig bei dem Giraffenbullen war der Hoden. Der distale Bereich des Hodens zeigte weniger Wärmeabstrahlung als der proximale. Diese Differenz war direkt vergleichbar mit der bei Rinderbullen (*Bos primigenius f. taurus*) (KASTELIC *et al.* 1995). In den letzten Jahren wurde die Infrarot-Thermographie bei Rinderbullen zur Überprüfung der Zuchttauglichkeit auf Zuchtstationen in Kanada eingesetzt (LUNSTRA & COULTER 1997). Zunächst wurden physiologische Thermogramme der Hoden von Bullen erstellt (KASTELIC *et al.* 1995). Später erfolgte ein Vergleich zu Schafböcken (*Ovis ammon f. aries*) (KASTE-

LIC *et al.* 1996a). Bei Bullen mit intakter Epididymidis konnte beobachtet werden, daß sich die Temperatur des Skrotums während der Ejakulation erhöhte (KASTELIC *et al.* 1996b). In einer anderen Studie konnte ermittelt werden, daß die Umgebungstemperatur einen großen Einfluß auf die Oberflächentemperatur des Hodens hatte. Die Differenz in der Oberflächentemperatur war zwischen distalem und proximalem Hodenpol bei einer Umgebungstemperatur von 5 °C am größten, bei 25 °C am geringsten. Ein schneller Temperaturwechsel führte zu einer Überkompensation der Thermoregulation am Hoden. Diese Gegenregulation war am deutlichsten nach drei Stunden erkennbar, nach 24 Stunden jedoch nicht mehr (KASTELIC *et al.* 1996c). Die Bedeutung verschiedener Teile des Hodens für die Hoden-Thermoregulation wurde anschließend bei verschiedenen Umgebungstemperaturen ermittelt. Den größten Einfluß übte die Hodenarterie aus, die sich vor Eintritt ins Parenchym stark aufzweigt. Über dieses Blutgefäß konnte die Temperatur des Hodengewebes reguliert werden (KASTELIC *et al.* 1997). LUNSTRA & COULTER (1997) suchten schließlich nach Korrelationen zwischen Skrotaltemperaturen und der Fertilität bei Mastbullen. Die Korrelationen zwischen abnormalen Temperaturmustern am Hoden, defekten Spermien und niedrigen Befruchtungsraten waren sämtlich signifikant. In Anlehnung an die Ergebnisse bei Rinderbullen, könnte die Thermographie auch in Zukunft in der Reproduktionsforschung bei männlichen Zootieren sinnvoll sein.

In weiteren punktuellen Untersuchungen bei Giraffen (Abb. 182-191) wurden ähnliche Ausdehnungen der Trächtigkeitsfelder gefunden wie bei dem Tier in Leipzig. Bei einigen Tieren spielten aber wiederum ungenügende Anpassung an die herrschenden Umgebungsbedingungen sowie nachwirkende Sonneneinstrahlung eine Rolle (Abb. 186-187, Abb. 190-191). Bei einem Tier (Abb. 184-185) trafen eine Hochträchtigkeit mit zunehmender Nervosität und Laufaktivität zusammen. Innerhalb von 15 Minuten intensiven Laufens durch die Gruppe erhöhte sich die Abstrahlung über den Kruppenmuskeln stark. Wie bereits oben angesprochen, sind unbedingt Experimente durchzuführen, mit deren Hilfe äußere Einflüsse auf Ausdehnung und Lokalisierbarkeit des Trächtigkeitsfeldes ermittelt werden können. Die Bilder hier machen jedoch deutlich, daß es bereits nach wenigen weiteren quantitativen Untersuchungen möglich sein wird, Eichkurven für Thermogramme trächtiger Giraffen zu erstellen. Mittels dieser Eichkurven könnten dann auch unerfahrene Untersucher Trächtigkeiten diagnostizieren. Auch diese Infrarot-Untersuchungen sollten weiter von Hormonanalysen über Kot oder auch von Verhaltensanalysen begleitet werden, um die Thermographie als Methode schneller zu etablieren. Die Bestimmung des Progesterons aus dem Kot ist inzwischen auch bei Giraffen etabliert (NEUMANN 1999). Bis vor kurzem war eine Hormonanalyse bei Giraffen nur über den Urin möglich (CALLE *et al.* 1993). Das Urin-Sammeln ist noch viel arbeitsintensiver als das Sammeln von Kot. Für eine exakte Bestimmung des Konzeptionsdatums und Geburtstermins ist bei beiden Methoden das Sammeln von Proben über viele Wochen nötig. Die Thermographie hingegen kann Sofort-Diagnosen innerhalb weniger Minuten oder weniger Tage liefern. Für eine Diagnose mittels Thermographie muß die Trächtigkeit allerdings weit genug fortgeschritten sein, um sie erkennen zu können.

Untersuchungen bei weiteren Tierarten

Bei Grevy-Zebras (Abb.192-197) konnten keine langen Verlaufsuntersuchungen angestellt, aber einige Tiere im letzten Drittel der Trächtigkeit untersucht werden. Für Grevy-Zebras wird eine Trächtigkeitsdauer mit 350 bis 424 Tagen angegeben, genauere Werte sind noch nicht bestimmt (STRAUSS 1995). Bei allen Tieren waren ähnliche Muster ihres Trächtigkeitsfeldes auf der linken Seite und etwas unterschiedliche auch auf der rechten zu erkennen. Die Tiere konnten auf Grund der Thermogramme als trächtig diagnostiziert werden und haben innerhalb von einigen Wochen danach geföhlt. Für ein Tier ist eine Einzeluntersuchung dargestellt (Abb. 192-193), für ein zweites zwei Untersuchungen mit vier Wochen Abstand (Abb. 194-197).

Auch am Beispiel eines Hirschebers (*Babyrousa babyrussa*) im Zoo Berlin (Abb. 198-201) ließ sich die Gravidität mittels Infrarot-Thermographie feststellen. Bei Hirschebern dauert eine Trächtigkeit zwischen 155 und 171 Tagen (KUNTZE 1995). Bei dem abgebildeten Tier war zunächst die linke Bauchwand durch stärkere Wärmeabstrahlung gekennzeichnet. Die Euteranbildung war bereits von hinten gut erkennbar. Kurz vor dem Ferkeln stellten sich sowohl das Trächtigkeitsfeld als auch das Herzfeld durch erhöhte Wärmeabstrahlung dar. Das letzte Bild zeigt das Jungtier im Alter von ca. 4 Wochen mit seiner Mutter auf der Außenanlage. Bei den Trächtigkeitsuntersuchungen von RÖHLINGER und Kollegen an Schweinen wurden nur Thermogramme der Vulvaregion erstellt, keine der Bauchregion (RÖHLINGER *et al.* 1979, RÖHLINGER 1983). Spätere Messungen von der Seite mit dem Handpyrometer konnten für einen Vergleich mit Thermogrammen nicht herangezogen werden. Mit dem Pyrometer wurde nur an wenigen Punkten gemessen, und dann auch nur direkt vor der Flanke. Trächtigkeitsfelder konnten so von den Autoren nicht erkannt werden. Eine höhere Wärmeabstrahlung am Gesäuge kurz vor der Geburt der Ferkel wurde auch bei Hausschweinen beobachtet (RÖHLINGER 1981, 1983). Die Infrarot-Thermographie bot hier Möglichkeiten, krankhafte Veränderungen bei Schwein und Rind, wie Mastitis oder Dermatitis, mit ihrer Ausdehnung darzustellen (RÖHLINGER 1983).

Bei einem Zwergesel (*Equus asinus f. asinus*) im Zoo Berlin (Abb. 202) konnte auch in der kalten Umgebungstemperatur die Trächtigkeit erkannt werden. Auf Grund der Kühle war das Trächtigkeitsfeld lokalisiert und eng begrenzt. Die Beine waren in ihrer Abstrahlung kaum von der Umgebung zu unterscheiden. Die Trächtigkeit dauert bei Eseln zwischen 330 und 360 Tagen (STRAUSS 1995). Das Thermographie-Ergebnis war überraschend, da Zwergesel im Winter ein sehr langes Fell haben und daher für die Infrarot-Thermographie eher ungeeignet sein sollten. Dieses ist bisher das erste Thermogramm eines langhaarigen Tieres. Das Beispiel zeigt also, daß die Aussichten auf Erfolg bei langhaarigen Tieren vielleicht doch nicht so schlecht sind, wie von EULENBERGER & KÄMPFER (1994) angenommen wurde. Dieses Ergebnis sollte in gezielten Untersuchungen und Experimenten überprüft werden. Vielleicht funktioniert es nur bei winterlichen Umgebungstemperaturen.

Bei einem mit Hilfe der Infrarot-Thermographie als trächtig diagnostizierten Zwergflußpferd (*Choeropsis liberiensis*) des Zoo Basel (Abb. 203) wurde ca. 1 Woche später ein Kalb geboren. Zwergflußpferde haben eine Trächtigkeitsdauer von 204 bis 210 Tagen (EULENBERGER 1995). Beim Zwergflußpferd hatte das Trächtigkeitsfeld eine diagonale Form, ähnlich der des Elefanten. Es reichte von der Herzregion im Brustraum bis zur dorsalen Beckenknochen-Region. Durch die Laufaktivität war bei diesem Zwergflußpferd die Wärmeabstrahlung über die Schulter- und Beckengliedmaße eben-

falls erhöht. Das Ergebnis bei diesem Tier überrascht etwas, da es eine sehr dicke Haut besitzt. Die Haut ist empfindlich und wird von einer Schleimschicht bedeckt (KRUMBIEGEL 1953/55). Das läßt vermuten, daß sie von vielen Blutgefäßen durchzogen wird. Diese Blutgefäße würden dann dem Flußpferd eine ähnlich gute Kontrolle über die Wärmeregulation erlauben, wie das beim Hausschwein der Fall ist. Flußpferde stehen in naher Verwandtschaft zu Schweinen (PFLUMM 1989). Literatur zur Anatomie der Haut von Zwergflußpferden konnte nicht gefunden werden. Eine eigene Beobachtung an einer Hautbiopsie eines Flußpferdes zeigte zahlreiche feine Blutgefäße, die die ca. 4 cm dicke Haut durchzogen (Beobachtung im Zoologischen Garten Berlin 1997).

Zwischen den beiden Südafrikanischen Oryx des Zoo Berlin (Abb.204) ließ sich auch auf große Distanz ein krasser Unterschied darstellen: Das linke, weibliche Tier zeigte eine starke Wärmeabstrahlung über den Bauch. Das rechte, männliche Vergleichstier wies hingegen mit Ausnahme einiger Wärmefenster in den Bereichen Herzregion, Schulter und Bein-Innenseiten die gleiche Wärmeabstrahlung wie über den restlichen Körper auf. Das linke Tier konnte als trächtig diagnostiziert werden. Bei Oryxantilopen dauert die Trächtigkeit zwischen 8½ und 9 Monaten (SEIDEL 1995).

Wie diese Bilder belegen, ließen sich Trächtigkeiten mittels der Infrarot-Thermographie gut diagnostizieren. Es fehlen jedoch quantitative sowie gezielte Verlaufsuntersuchungen bei vielen Individuen einer Art, um generelle Aussagen über die Ausdehnung und die Lokalisation der entsprechenden Trächtigkeitsfelder bei den einzelnen Tierarten treffen zu können. Ein Nachteil der Infrarot-Thermographie ist, daß sie erst in einem mehr oder weniger fortgeschrittenen Trächtigkeitsstadium eine Diagnose ermöglicht, da der Fötus eine gewisse Größe erlangt haben muß, um sich an der Körperwand der Mutter darzustellen. Mit Ultraschall wird eine Trächtigkeitsdiagnose im sehr frühen Stadium gesichert gestellt, die Sicherheit nimmt aber mit zunehmender Trächtigkeitsdauer ab, da sich der Fötus dann aus der Reichweite des Schallkopfes heraus nach ventral verlagert hat. Dies kann sogar zu Fehldiagnosen führen (pers. Beobachtung). Bei fortgeschrittenen Trächtigkeiten ist also die Infrarot-Thermographie gefragt. Die beiden Methoden ergänzen sich gut, das Narkoserisiko beim Ultraschall sollte aber nicht außer acht gelassen werden. Da die Thermographie absolut risikofrei ist, sollte sie mit Hilfe anderer Methoden zügig weiterentwickelt und statistisch abgesichert werden, was hier aus Kostengründen nicht möglich war. Die Thermogramme sollten z.B. zusammen mit Hormonanalysen über Kotproben und verhaltensbiologischen Untersuchungen über die Aktivitäten der Tiere korreliert und ausgewertet werden. Vorschläge für solche und andere Experimente werden im Kapitel „9.0 Abschlußdiskussion und Ausblick“ noch gezielter vorgestellt.

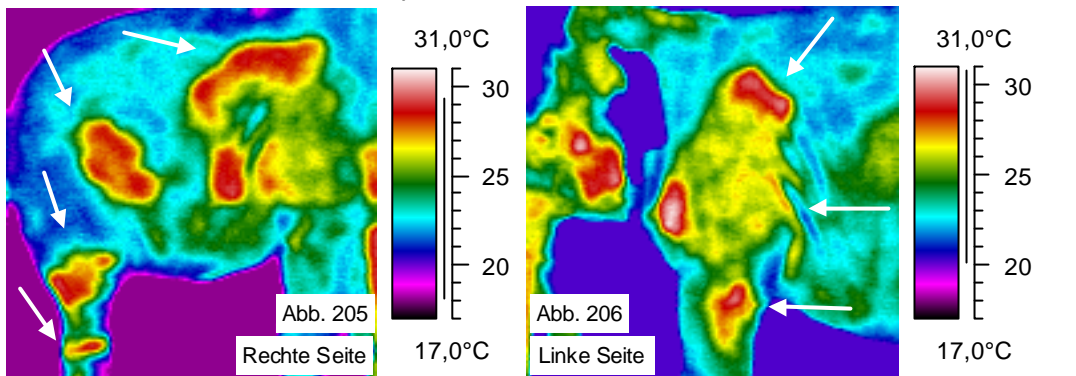
7.0 Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie

7.1 Ergebnisse - Fallbeispiele

Zu jedem Fallbeispiel werden neben dem Infrarot-Befund eine Anamnese und klinische Daten, soweit bekannt, angeführt. Mit Hilfe der Infrarot-Thermographie als bildgebendes Verfahren können pathologische Befunde nur beschrieben werden. Es folgt eine Bewertung, die möglichst durch weiterführende Maßnahmen diagnostisch abgeklärt wurde. Die pathologischen Infrarot-Befunde wurden anhand von "Normalbefunden" aus der Datenbank oder mittels anderer Tiere überprüft.

A) Gelenkerkrankungen

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus* Ort: Zoo Zürich (Außenanlage) Datum: 26.6.1997



Umgebungstemperatur: 21,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 10 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund: Körperseite: links rechts
Körper: 22,4 °C 22,4 °C
Schulter: 26,2 °C 26,3 °C
Gelenk (Hüfte): --- 27,8 °C
Gelenk (Knie): --- 27,5 °C

Abb. 205-206: Veränderungen zahlreicher Gelenke

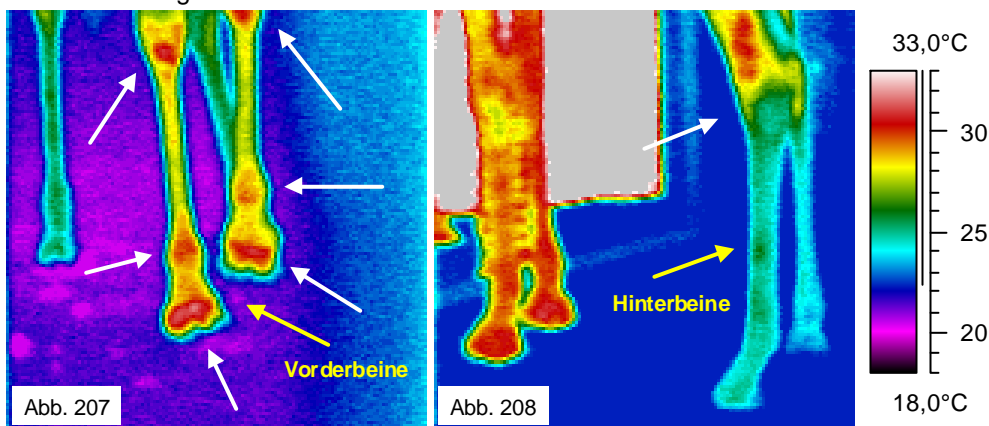
Anamnese: Tier läuft schwerfällig, knackende Geräusche in den Gelenken;
Intensives Weben während des Ankettens.

Infrarot-Befund: Vermehrte Wärmeabstrahlung über fast alle Gelenke der Vorder- und Hinterbeine.

Bewertung: Verdachtsdiagnose - Polyarthrit / Polyarthrose.

Tierart: Netzgiraffe *Giraffa c. reticulata*

Ort: Zoo Berlin (Außenstall) Datum: 2.7.1997



Umgebungstemperatur: 22,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 4 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund: Beine: hinten vorne
Beine (distal): 25,2 °C 28,6 °C
Hand-/Sprunggelenk: 26,1 °C 29,4 °C
Fessel: 25,4 °C 29,9 °C
Klaue/Ballen: 25,1 °C 30,6 °C

Abb. 207-208: Polyarthrose

Anamnese: Tier, 14 Jahre, hat seit einigen Jahren verstärkt Probleme beim Laufen. Knackgeräusche in den Gelenken. Wegen der Gelenksprobleme am 14.7.1997 eingeschläfert.

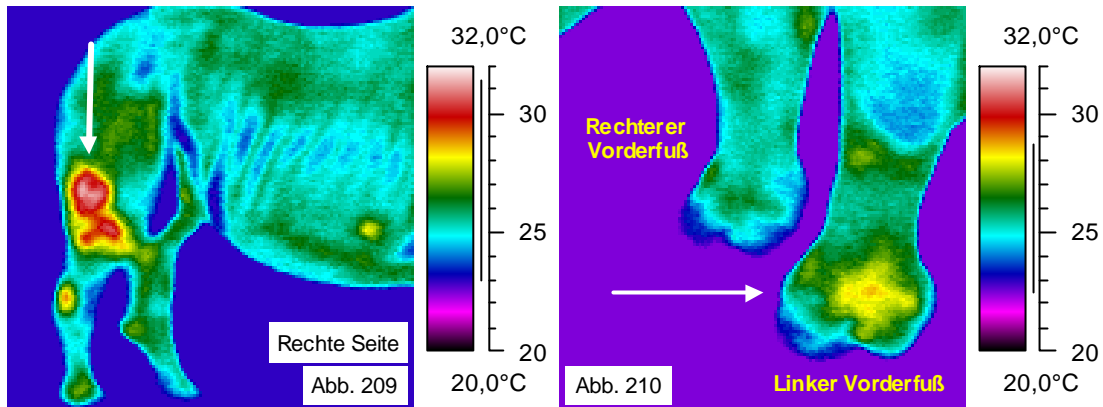
Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über die Gelenke, z.B. der Vorderbeine (Karpal- und Fesselgelenke) ca. 3,5 bis 4,5 °C stärker als über die der Hinterbeine (Tarsal- und Fesselgelenke).

Bewertung: Pathologische Veränderungen der Gelenke der Vorderbeine, weniger der der Hinterbeine.

Pathologie (Sektion): Arthrotische Veränderungen der Gelenkknorpel der Vorderbeine (Karpal- und Fesselgelenke), geringer der Gelenkknorpel der Tarsalgelenke, geringgradige Veränderungen im Fesselgelenk der Hinterbeine. Teilweise Randwulstbildungen und Absprengungen von Knorpelfragmenten sowie Gelenkkapselentzündungen.

Tierart: Spitzmaulnashorn *Diceros bicornis*

Ort: Zoo Zürich (Außenanlage) **Datum:** 31.8.1997



Umgebungstemperatur: 16,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körper:	25,4 °C	Körperseite:	rechts	links
Schenkel:	26,4 °C	Vorderbein		
Hinterbein:		(distal):	25,5 °C	26,1 °C
(Entzündungsstelle):	30,1 °C	Vorderfuß:	25,6 °C	27,6 °C

Abb. 209-210: Entzündlicher Prozeß an Oberschenkel und Vorderfuß

Anamnese: Nashorn geht seit einiger Zeit vorn lahm.

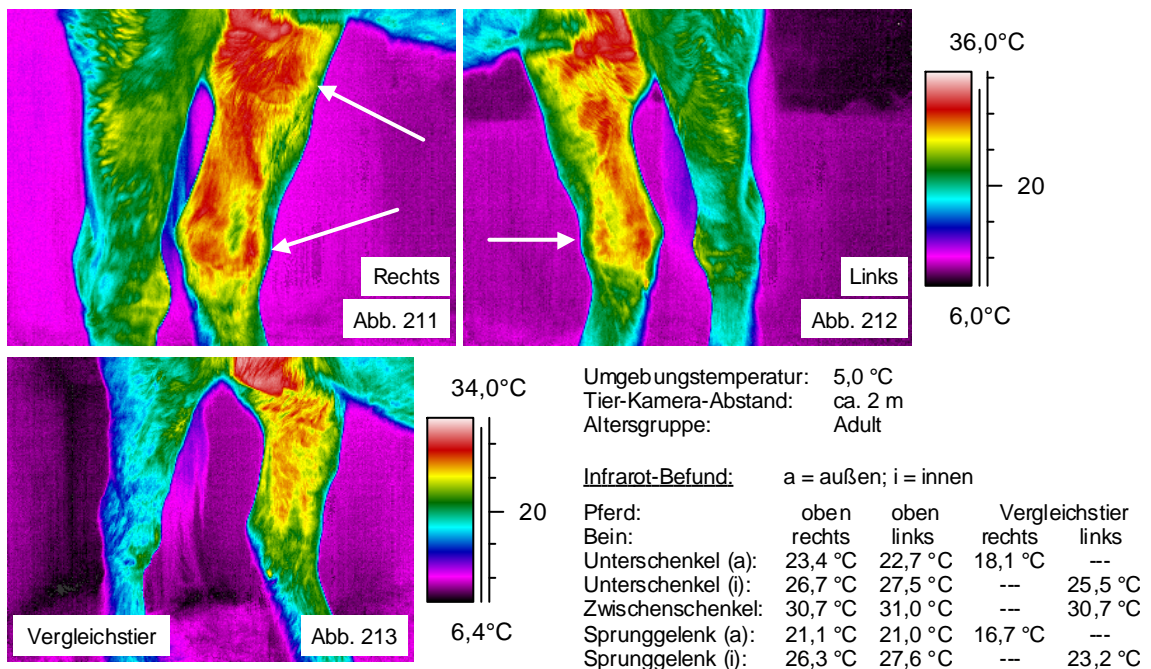
Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über den Oberschenkel hinten rechts (Musculus biceps femoris) und die Kniegelenkregion stark sowie vorn links am Fuß etwas erhöht.

Bewertung: Entzündliche Veränderungen an Oberschenkel und Vorderfuß.

Verdachtsdiagnose: Muskelfaserriß der Oberschenkelmuskulatur; Überbelastung vorn links.

Tierart: Shire Horse *Equus przewalski f. caballus*

Ort: Zoo Erfurt (Stall) **Datum:** 7.12.1999



Umgebungstemperatur: 5,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

a = außen; i = innen

Pferd:	oben	oben	Vergleichstier	
Bein:	rechts	links	rechts	links
Unterschenkel (a):	23,4 °C	22,7 °C	18,1 °C	--
Unterschenkel (i):	26,7 °C	27,5 °C	--	25,5 °C
Zwischenschenkel:	30,7 °C	31,0 °C	--	30,7 °C
Sprunggelenk (a):	21,1 °C	21,0 °C	16,7 °C	--
Sprunggelenk (i):	26,3 °C	27,6 °C	--	23,2 °C

Abb. 211-212: Verdacht auf Arthritis der Sprunggelenke

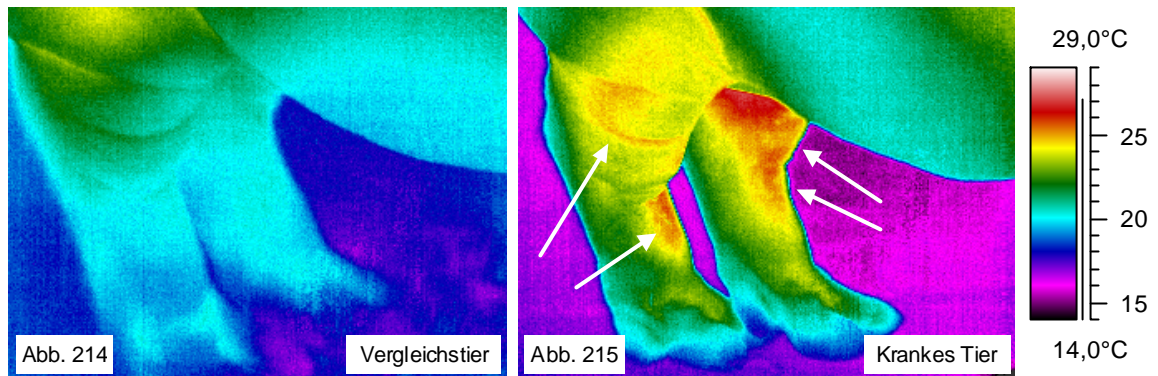
Anamnese: Pferd (oben) geht seit einiger Zeit klamm und zeigt Lahmheit 1. Grades.

Infrarot-Befund: Gegenüber dem Vergleichstier ist die Wärmeabstrahlung über Oberschenkel und Sprunggelenk innen stark erhöht, links verstärkt gegenüber rechts.

Bewertung: Entzündliche Veränderungen im Sprunggelenksbereich.

Verdachtsdiagnose: Arthritis, Myositis, Tendovaginitis und / oder Bursitis.

Tierart: Zwergflußpferd *Choeropsis liberiensis* **Ort:** Zoo Leipzig (Stall) **Datum:** 18.11.1998



Umgebungstemperatur: 20,0 °C
 Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m
 Altersgruppe: Adult (rechts: 30 Jahre)

Infrarot-Befund: Vergleichstier			Krankes Tier		
Körperseite:	rechts	links	Körperseite:	rechts	links
Bauch:	20,4 °C	---	Bauch:	21,1 °C	---
Knie (rechts):	22,3 °C	---	Knie (rechts):	24,1 °C	---
Unterschenkel (i):	---	20,7 °C	Unterschenkel (i):	---	25,4 °C
Metatarsalregion:	19,9 °C	20,0 °C	Metatarsalregion:	23,3 °C	23,7 °C

Abb. 214-215: Pathologische Gelenkveränderungen

Rechtes Tier: Anamnese: Tier zeigt unklare Lahmheit seit einigen Tagen; schwerfälliger Gang.
 Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über die Beine des rechten Tieres ca. 2 bis 5 °C stärker als beim linken.
 Bewertung: Pathologische Veränderungen in den Gelenken der Hinterbeine.
 Verdachtsdiagnose: Arthritis / Arthrose, Tendovaginitis und / oder Bursitis.

B) Traumatologie

Tierart: Moschustier *Moschus moschiferus*

Ort: Zoo Leipzig (Außenanlage) **Datum:** 17.12.1998

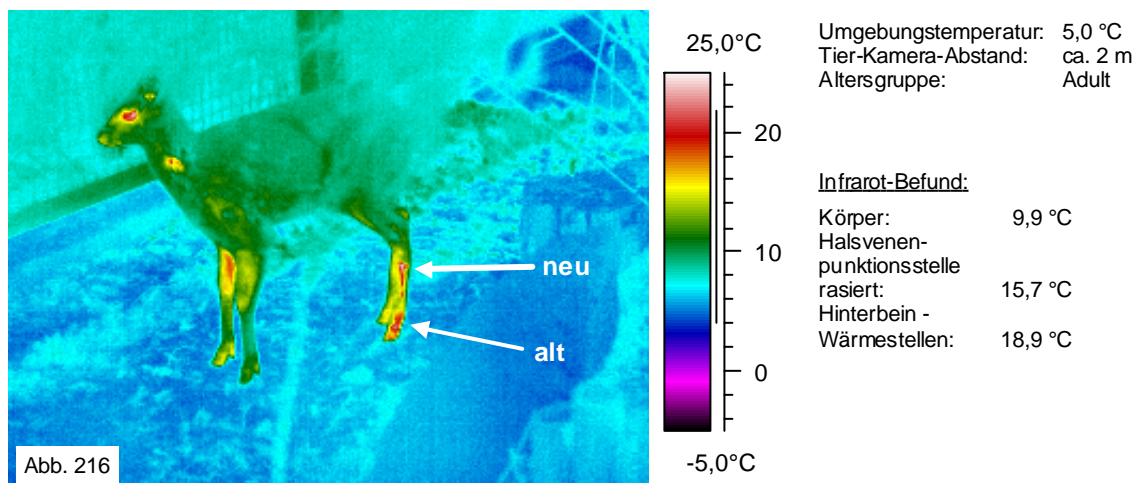
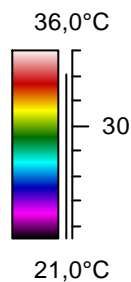
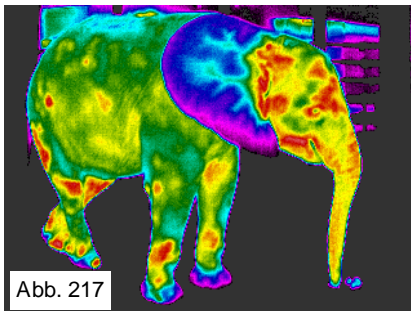


Abb. 216: Metatarsal-Frakturen

Anamnese: Tier lahmt wiederholt nach mehrfachen Operationen einer Fraktur am distalen Metatarsalknochen.
 Infrarot-Befund: An der alten Scherstelle am linken Hinterbein zeichnen sich zwei Wärmepunkte ab, über die die Wärmeabstrahlung ca. 9,0 °C stärker ist als über den Körper.
 Bewertung: Entzündlicher Prozeß am proximalen Metatarsalknochen.
 Erneute Befundung der letzten Röntgenaufnahme: Haarriß am proximalen Metatarsalknochen.

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*

Ort: Zoo Erfurt (Stall) **Datum:** 7.12.1999



Umgebungstemperatur: 17,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2-3 m
Altersgruppe: Juvenil

Infrarot-Befund:

Körperseite:	links	rechts
Körper:	30,8 °C	30,0 °C
Vorderbeine (ohne Gelenke):	28,6 °C	28,5 °C
Handgelenk (lateral):	33,0 °C	32,9 °C
Hinterbeine (ohne Gelenke):	32,9 °C	29,2 °C
Kniegelenk (lateral):	33,8 °C	33,0 °C

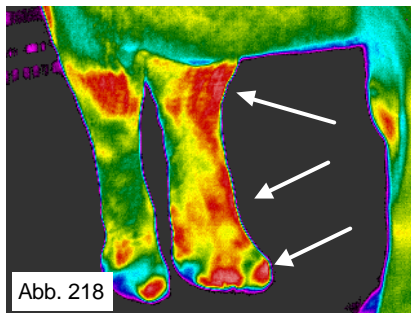


Abb. 218

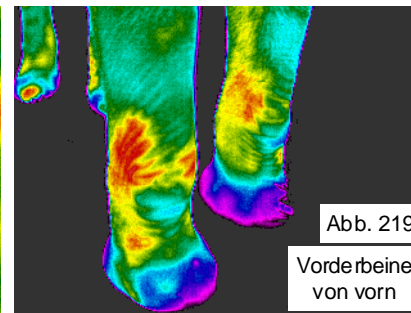


Abb. 219

Vorderbeine von vorn

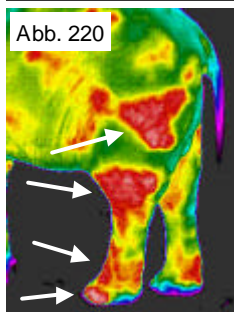


Abb. 220

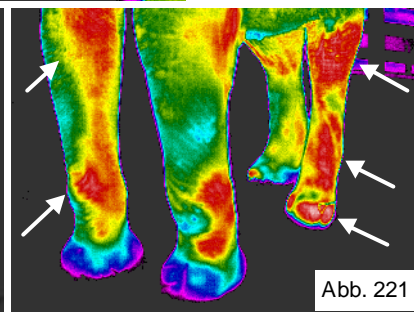
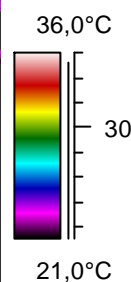


Abb. 221



Anamnese:
Jungelefant vor einiger
Zeit aus Afrika importiert.
Seit einigen Wochen
Lahmheit vorn rechts.

Abb. 217-221: Traumatisierung mehrerer Gelenke

Befund: Beobachtete Lahmheit hinten links mit Nachziehen des Hinterbeines.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über die meisten Gelenke der Beine vermehrt. Über linkes Hinterbein fast durchgehend gleich starke Abstrahlung.

Bewertung: Lahmheit vorn rechts im Abklingen, Lahmheit hinten links geht mit entzündlichen Veränderungen am ganzen Bein einher. Lahmheit vermutlich durch exogenes Trauma verursacht.

Gelenke bei juvenilen Tieren in Wachstumsphase generell mit vermehrter Wärmeabstrahlung?

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

Ort: Zoo Rotterdam (Stall) **Datum:** 25.8.1997

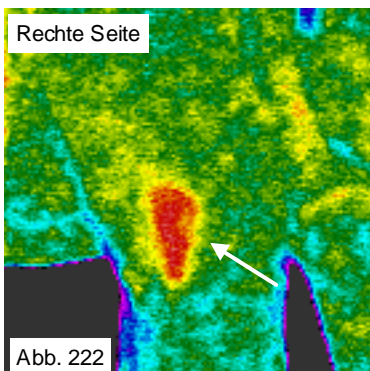


Abb. 222

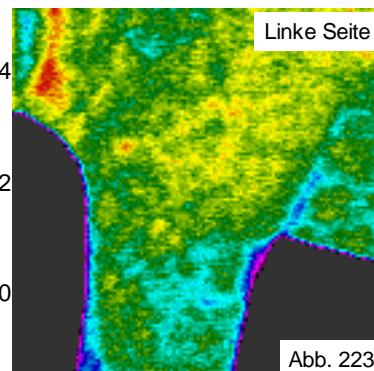
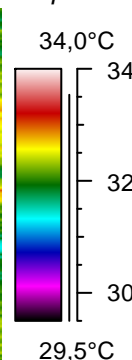
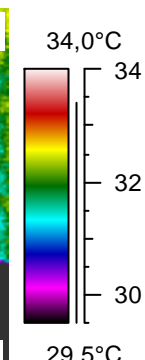


Abb. 223



Umgebungstemperatur: 29,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Körperseite:	links	rechts
Körper (Schulter):	32,2 °C	32,0 °C
Ellbogenngelenk:	32,2 °C	33,1 °C
Beine (proximal):	31,7 °C	31,7 °C

Abb. 222-223: Pathologische Veränderung im rechten Schultergelenk

Anamnese: Seit einigen Tagen undefinierbare Lahmheit nach Gang auf Außenanlage.

Befund: Hautoberfläche unverändert.

Infrarot-Befund: Vermehrte Wärmeabstrahlung über das rechte Ellbogengelenk.

Bewertung: Verdacht auf Gelenkentzündung nach exogenem Trauma.

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

Ort: Zoo Berlin (Stall) Datum: 19.12.1996

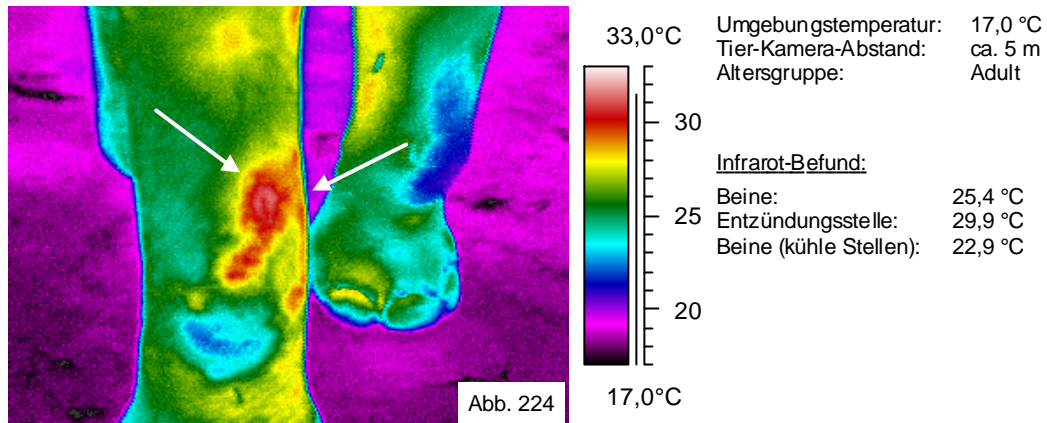


Abb. 224: Traumatische Veränderung der rechten Handgelenksregion

Anamnese: Lahmheit vorn rechts nach Rangordnungsstreitigkeiten.

Das Tier klemmte vor einigen Tagen seinen rechten Vorderfuß zwischen Gitterstäben ein.

Infrarot-Befund: Vermehrte Wärmeabstrahlung proximal des rechten Handgelenks.

Bewertung: Entzündung nach Distorsion des rechten Handgelenks.

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*

Ort: Zoo Osnabrück (Stall) Datum: 6.2.1998

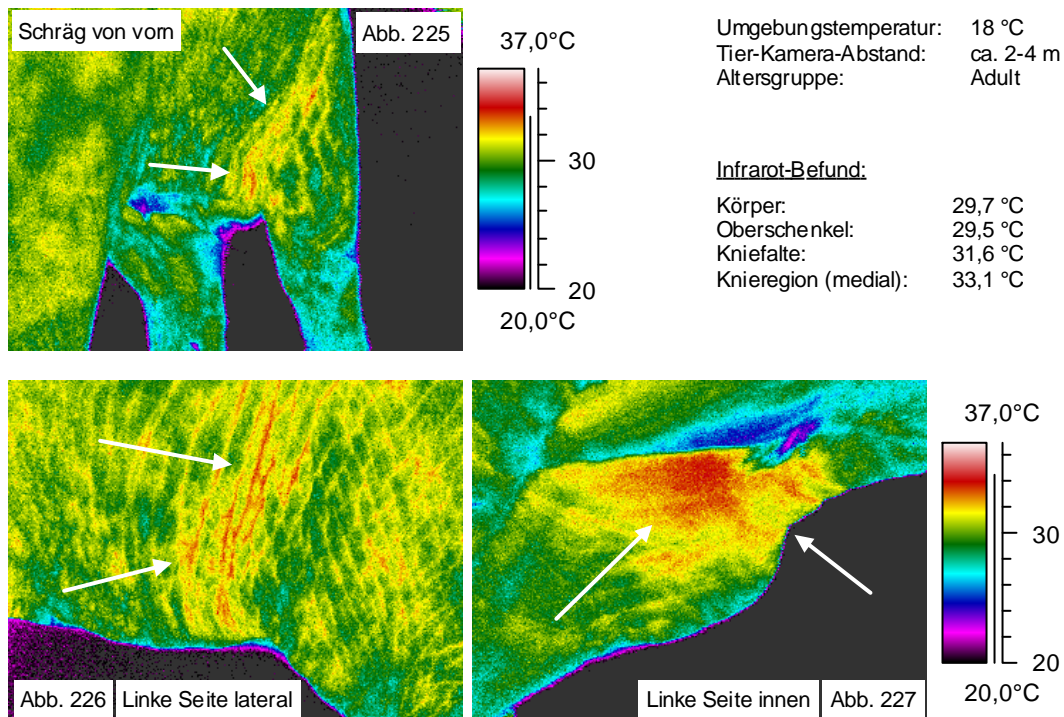


Abb. 225-227: Verdacht auf Muskelfaserriß

Anamnese: Elefantenkuh war einige Tage zuvor in Absperrgraben gefallen. Sie hatte sich selbst wieder daraus befreit und lahmt seitdem undefiniert hinten links.

Befund: Abspreizen des linken Hinterbeines; Lahmheit.

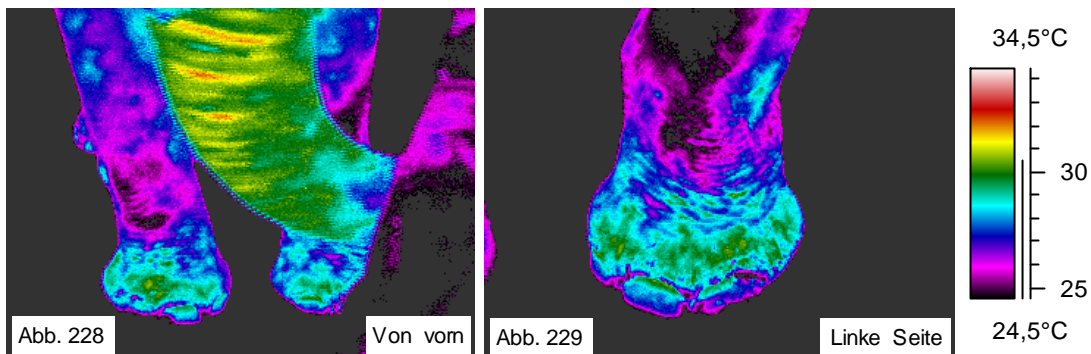
Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung vermehrt über den lateralen Kniefaltenbereich und über die mediale Knieregion.

Bewertung: Verdacht auf Muskelfaserriß.

C) Nagelbettentzündungen

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

Ort: Zoo Berlin (Stall) **Datum:** 19.12.1996



Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Juvenil

Infrarot-Befund:

	rechts	links
Vorderbein:	25,9 °C	—
Beine (distal):	28,6 °C	28,1 °C
Fuß (vom):	28,4 °C	28,7 °C
Nägel:	—	—
Nägel (pathologisch):	—	—

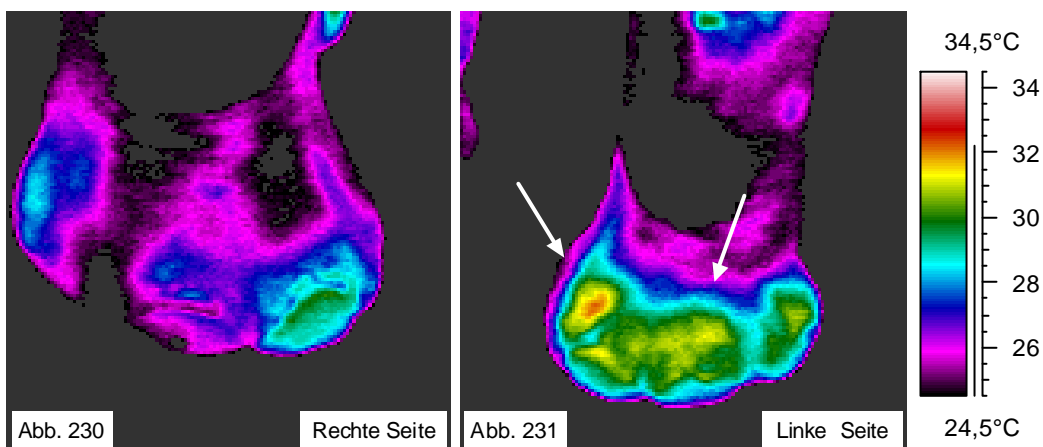
Abb. 228-229: "Normalbefund" der Füße

Anamnese: Jugendlicher Elefant ohne besondere Auffälligkeiten an der Haut und beim Gang.
Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über Füße und Nägel ca. 2-3 °C stärker als über die distalen Beine.

Bewertung: Füße unter gleichmäßiger Belastung.

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

Ort: Zoo Leipzig (Stall) **Datum:** 17.12.1997



Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

	rechts	links
Vorderbein:	23,9 °C	24,2 °C
Beine (distal):	25,5 °C	28,6 °C
Fuß (vom):	26,1 °C	—
Nägel:	29,2 °C	29,8 °C
Nägel (pathologisch):	—	—

Abb. 230-231: Nagelbettentzündungen - Pododermatitis septica chronica ("Hufkrebs")

Anamnese: Elefantenkuh ca. 47 Jahre alt. Kuh zeigt gelegentlich Lahmheit an Vorderfüßen.
Befund: Schwerfälliger Gang; Horneinrisse an Nägeln, besonders am linken Vorderfuß, mit seröser Flüssigkeit gefüllte Drüsen, Gewebnekrosen.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung vermehrt über linken Fuß (4,4 °C) und Nägel (5,6 °C).

Bewertung: Nagelbettentzündungen des 3. und 4. Nagels des linken Fußes und des 3. Nagels des rechten Fußes.

Gleiches Tier wie Abb. 230-231

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

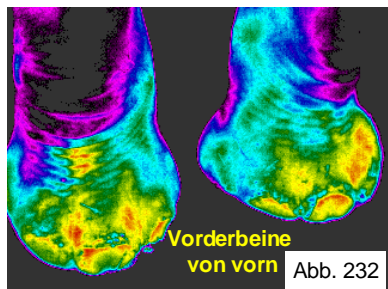


Abb. 232

Ort: Zoo Leipzig (Stall) Datum: 20.4.1998

Umgebungstemperatur: 20,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Vorderbein:	rechts	links
Beine (distal):	25,7 °C	26,5 °C
Fuß (vorn):	30,2 °C	31,2 °C
Nägel:	--	--
Nägel (pathologisch):	31,0 °C	31,2 °C

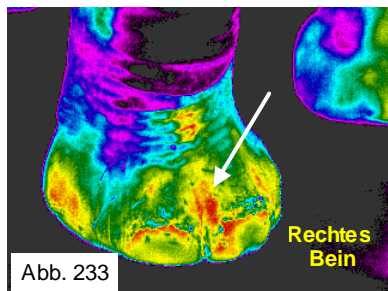


Abb. 233

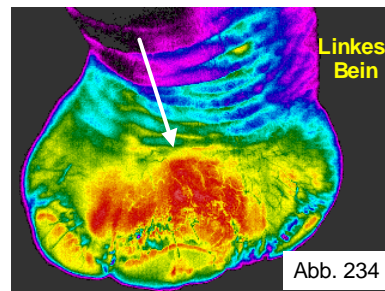


Abb. 234

Abb. 232-234: Fortschreitende Nagelbettentzündung

Folgeuntersuchung zu Bildern vom 17.12.1997 (Abb. 230-231).

Befund: Ausweitung der Nagel-Hornveränderungen.

Infrarot-Befund: Vermehrte Wärmeabstrahlung über den linken Vorderfuß proximal des 4. Nagels.

Bewertung: Nagelbettentzündung fortschreitend.

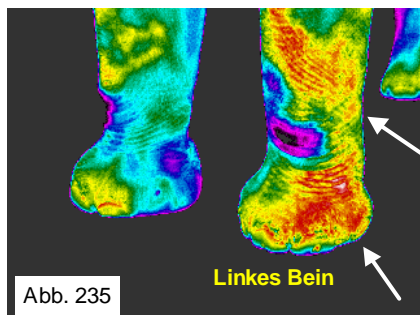


Abb. 235

Ort: Zoo Leipzig (Stall) Datum: 18.11.1998

Umgebungstemperatur: 20,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Vorderbein:	rechts	links
Beine (distal):	28,9 °C	29,3 °C
Fuß (vorn):	29,5 °C	32,1 °C
Nägel:	--	--
Nägel (pathologisch):	31,3 °C	31,2 °C

Abb. 235: Ausbreitung der Nagelbettentzündung

Infrarot-Befund: Vermehrte Wärmeabstrahlung über große Teile der Extremitäten, besonders über das linke Vorderbein und über die Nägel.

Bewertung: Nagelbettentzündung mit Ausbreitung ins angrenzende Gewebe.

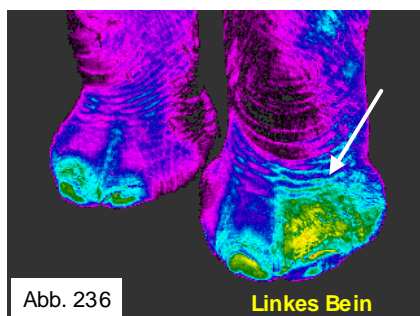


Abb. 236

Ort: Zoo Leipzig (Stall) Datum: 2.12.1999

Umgebungstemperatur: 20,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Vorderbein:	rechts	links
Beine (distal):	26,2 °C	25,7 °C
Fuß (vorn):	26,6 °C	29,1 °C
Nägel:	--	28,4 °C
Nägel (pathologisch):	28,9 °C	29,6 °C

Abb. 236: Abheilende Nagelbettentzündung

Befund: Nägel oberflächlich glatt und gut ausgeschnitten und gefeilt.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über 4. Nagel geringer als über 3. Nagel und vermehrt über das Gewebe proximal des 4. Nagels.

Bewertung: Nagelbettentzündung im Abklingen.

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus*

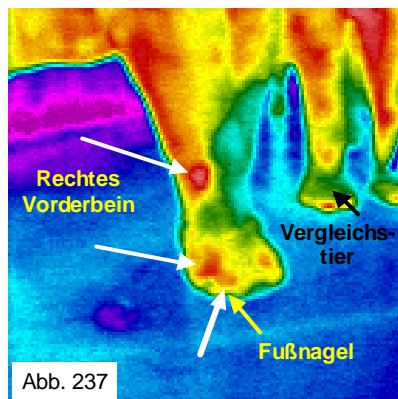


Abb. 237

Ort: Zoo Berlin (Stall) Datum: 19.3.1997

Umgebungstemperatur: 18,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 5 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Fuß: 25,2 °C
Fuß (Entzündungsstelle): 27,0 °C
Fuß (Vergleichstier): 24,1 °C
Bein (vom) : 24,2 °C
Bein (Entzündungsstelle): 28,3 °C

Abb. 237: Nagelbettentzündung

Anamnese: Wiederholte Nagelbettentzündung, leichte Lahmheit vorn rechts.

Befund: Nagelhornrisse in allen Nägeln, besonders im 4. Nagel des rechten Vorderfußes.

Infrarot-Befund: Vermehrte Wärmeabstrahlung im Bereich des 4. und 5. Nagels und der Außenseite des Vorderfußgelenkes.

Bewertung: Nagelbettentzündung des 4. Nagels mit Ausstrahlung ins umgebende Gewebe.

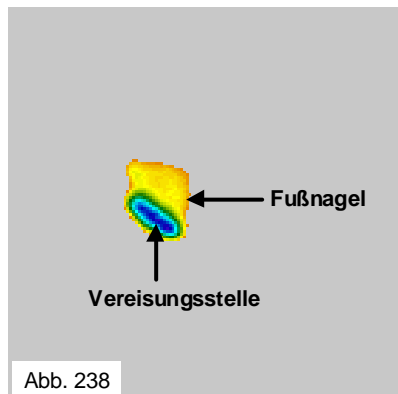


Abb. 238

Infrarot-Befund:

Stickstoffeintragsstelle: -33,9 °C
Fußnagel: -5,4 °C
Nagelbettumgebung: >0,0 °C

Abb. 238: Vereisung eines Fußnagels

Sichtbar im Bild ist nur der vereiste Fußnagel.

Vereisung unter Infrarot-Kontrolle: Die Vereisung wurde unter Infrarot-Kontrolle so lange durchgeführt, bis die Region des Nagelbettes auch negative Temperaturen aufwies und so sichergestellt werden konnte, daß vorhandene Keime im Nagelbett vereist wurden.

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*

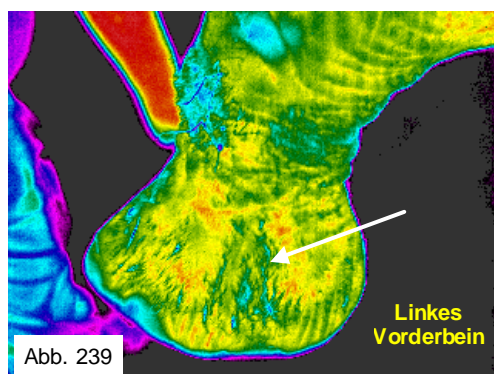


Abb. 239

Ort: Zoo Erfurt (Stall) Datum: 7.12.1999

Umgebungstemperatur: 17,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Beine (distal): 28,1 °C
Fuß (gelb-rot): 29,2 °C
Fuß (blau-grün): 28,1 °C

Abb. 239: Abgeheilter Abszeß

Anamnese: Vor einiger Zeit Nagelbettentzündung und Abszeß am linken Vorderfuß.

Befund: Hautveränderungen - Vernarbung.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über der Hautveränderung der lateralen Vorderfußregion vermindert.

Bewertung: Abszeß bindegewebig organisiert.

D) Erkrankungen mit Hautbeteiligung

Tierart: Breitmaulnashorn *Ceratotherium simum*

Ort: Zoo Hodenhagen [Safaripark] (Stall) **Datum:** 7.2.1998

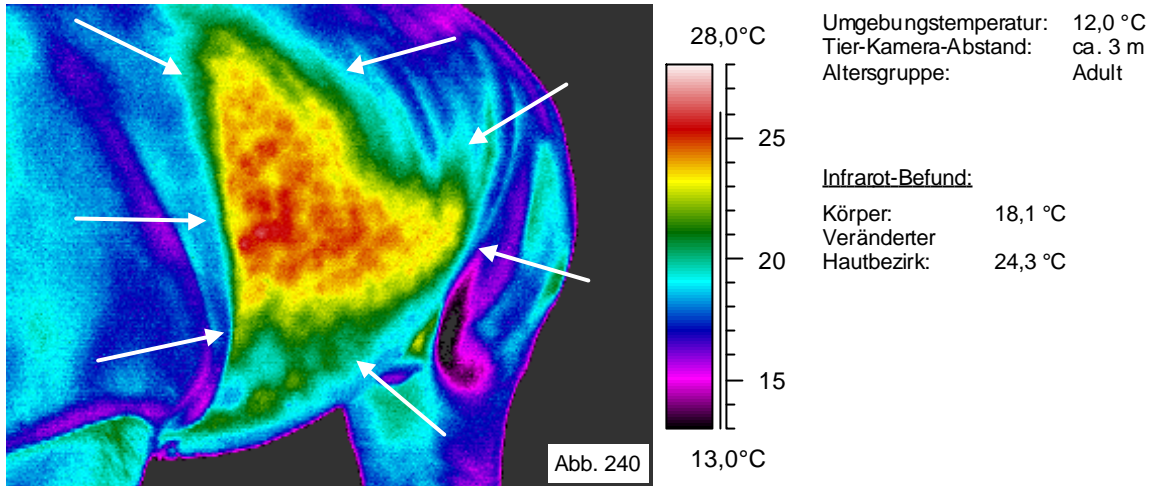


Abb. 240: Großflächige Hautabschürfung

Anamnese: Nashorn scheuert die Haut an der Wand beim regelmäßigen Umrunden des Stalls. Stundenlanges Laufen im Kreis.

Befund: Schürfspuren an der Haut sichtbar. Keine offenen Hautwunden.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über den veränderten Hautbezirk 6 °C stärker als über den restlichen Körper.

Bewertung: Lokalisierte feine Abschürfung der verhornten Hautschicht.

Tierart: Panzernashorn *Rhinoceros unicornis*

Ort: Zoo Basel (Außenanlage) **Datum:** 30.8.1997

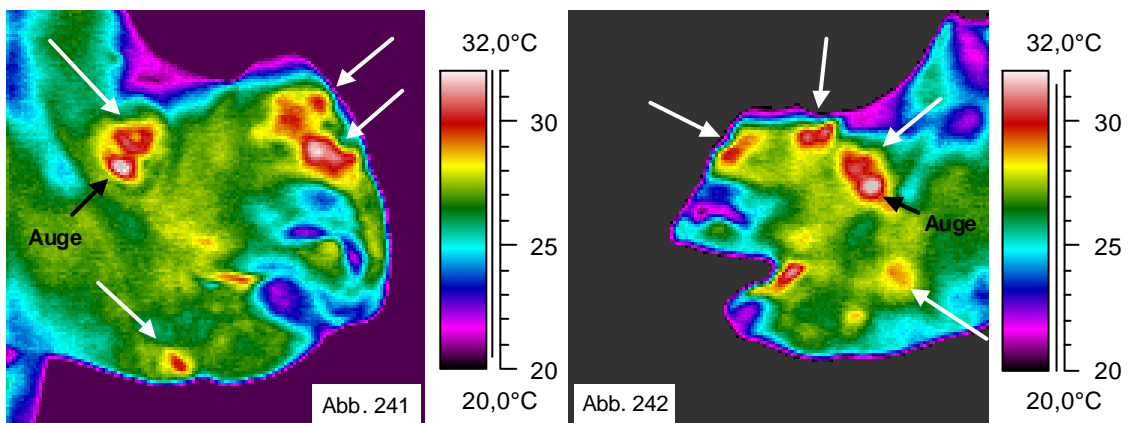


Abb. 241-242: Lokale Hautabschürfungen

Anamnese: Nashörner auf Außenanlage mit rauen Gehegewänden, an denen sie sich scheuern.

Befund: Lokale Hautabschürfungen an diversen Stellen des Kopfes und Körpers, zum Teil blutig gekratzt.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung vermehrt über die Hautabschürfungsstellen.

Bewertung: Lokale, oberflächliche Entzündungen der Haut.

Tierart: Netzgiraffe *Giraffa c. reticulata*

Ort: Zoo Erfurt (Stall) **Datum:** 7.12.1999

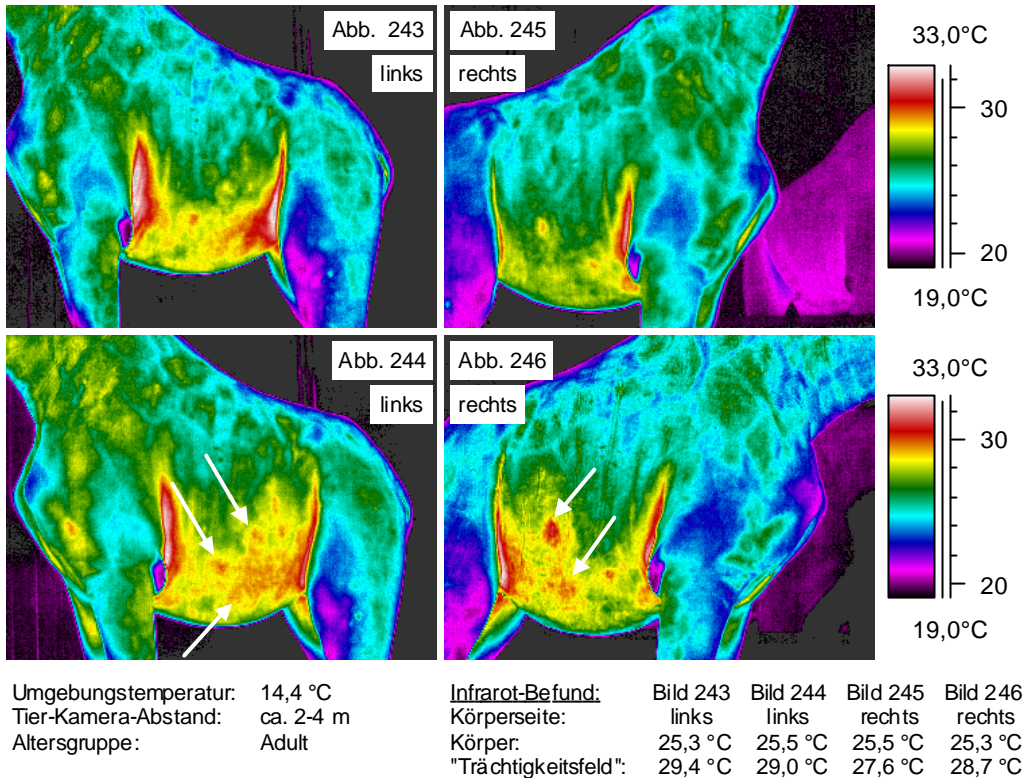


Abb. 243-246: Verdacht auf narbige Verwachsungen

Anamnese: Giraffe vor 1,5 Jahren von anderem Institut als trächtig diagnostiziert. Im Dezember 1998, ca. 1-3 Monate vor dem errechneten Abkalbedatum, stürzte die Giraffe in den Graben des Außengeheges, befreite sich aber selbst. Tiefe Hautwunden am gesamten Bauch sowie Abschürfungen am restlichen Körper. Vernarbungen sichtbar.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über das "Trächtigkeitsfeld" der rechten Seite stärker als über das der linken. Ausdehnung des "Trächtigkeitsfeldes" auf der rechten Seite stärker als auf der linken. Wärmeabstrahlung über die "Trächtigkeitsfelder" beider Seiten inkonstant (Pfeile).

Kot-Progesteron: Zyklisches Geschehen im Januar-März 2000 diagnostiziert.

Bewertung: Entzündliche Veränderungen am Unterbauch, vermutlich durch Verwachsungen innerer Organe mit der Haut nach dem Sturz. Frühere Trächtigkeit kann anhand der vorliegenden Befunde nicht verifiziert werden.

Tierart: Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana* **Ort:** Zoo Basel (Stall) **Datum:** 30.8.1997

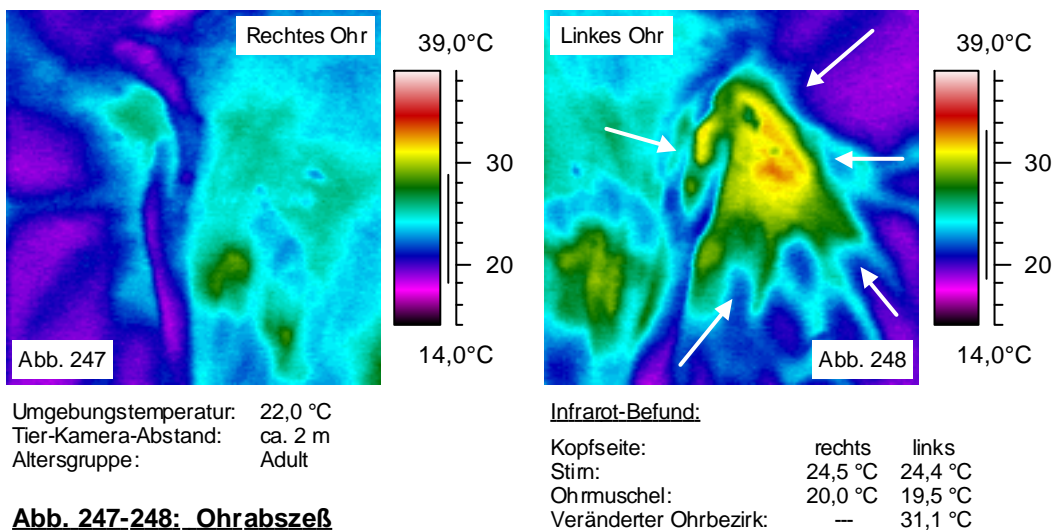


Abb. 247-248: Ohrabszeß

Anamnese: Elefantenkuh stellt linkes Ohr meistens vom Körper ab. Schwellung am linken Ohr.

Befund: Geringgradige Hautveränderungen und leichte Schwellung an Ohrmuschel am Eingang zum Gehörgang.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung stark vermehrt über den veränderten Hautbezirk.

Bewertung: Abszeß in der Haut der äußeren Ohrmuschel am Eingang zum Gehörgang.

E) Infektionskrankheiten

Tierart: Flußpferd *Hippopotamus amphibius* **Ort:** Zoo Berlin (Stall) **Datum:** 3.9.1997

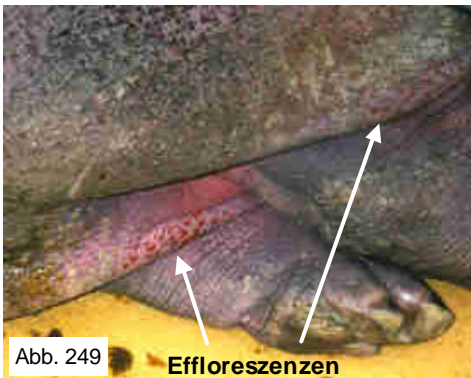


Abb. 249: Effloreszenzen an Bauch und Beinen

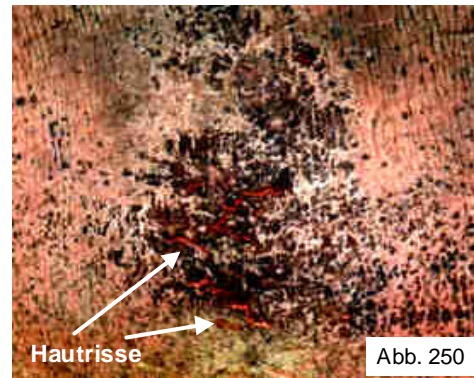


Abb. 250: Hautveränderung am Rücken

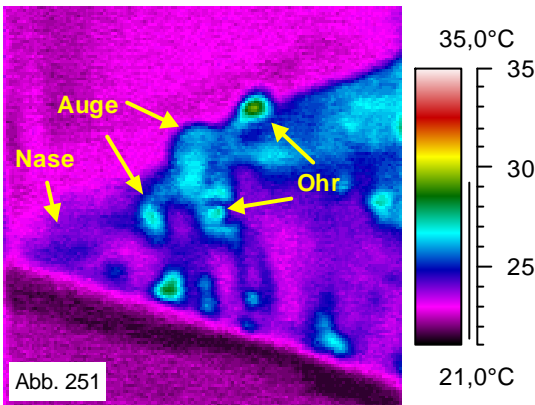


Abb. 251: Kopf und Rücken

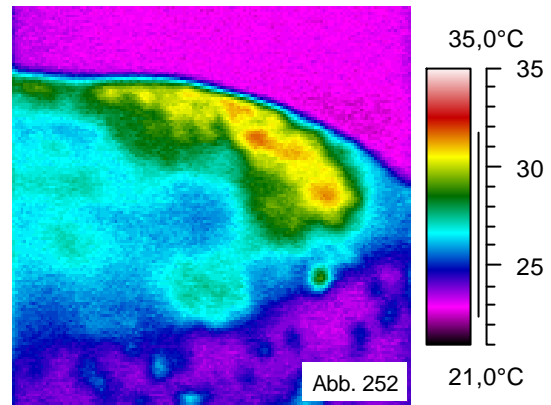


Abb. 252: Rücken und Beckenregion

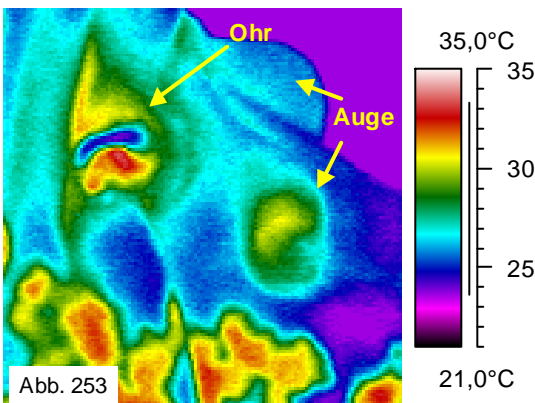


Abb. 253: Kopf: Augen, Ohren und Oberkiefer

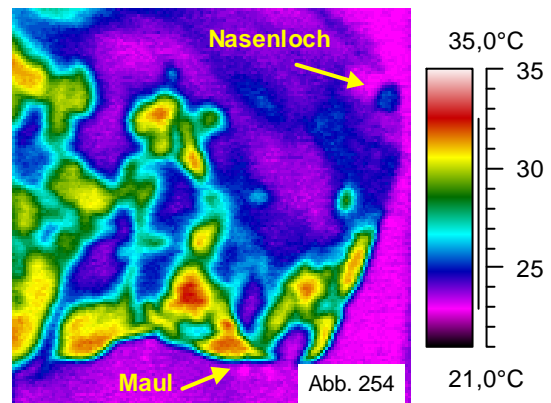


Abb. 254: Kopf: Nase, Ober- und Unterkiefer

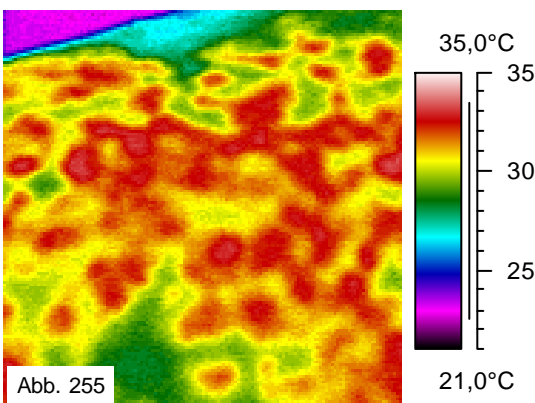


Abb. 255: Rücken im Detail

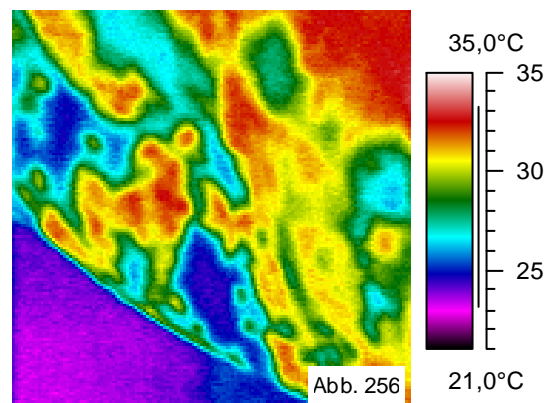


Abb. 256: Bauch seitlich im Detail

Tierart: Flußpferd *Hippopotamus amphibius*

Ort: Zoo Berlin (Stall) **Datum:** 3.9.1997

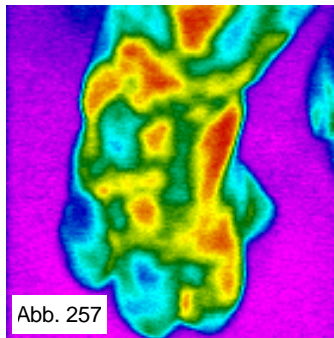


Abb. 257: Hinterbein

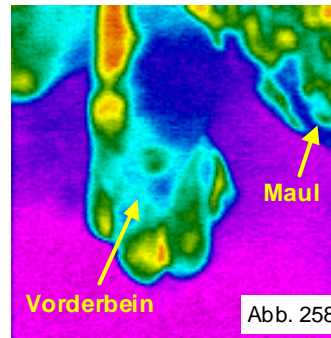


Abb. 258: Vorderbein und Unterkeiferregion

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 1-2 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund: Abb. 251-258

Körper unverändert: 23,3 bis 26,2 °C Nase: 24,1 °C
Flecken: 22,8 bis 33,3 °C Stim: 26,2 °C
Rückenfleck: 31,8 °C

Abb. 249-258: Verdacht auf Herpes-Virus-Infektion

Anamnese: Flußpferd lethargisch; Inappetenz; Hautveränderungen (z.B. Effloreszenzen) und Hautrisse über einen großen Teil des Körpers.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über den Körper fleckenhaft. Temperaturdifferenzen bis zu 10 °C zwischen Flecken und kühlen Körperstellen.

Bewertung: Entzündliche Veränderungen der Haut. Infektion sehr wahrscheinlich, vermutlich Herpesvirus, jedoch Testergebnisse negativ (Tier gesundet).

Tierart: Flußpferd *Hippopotamus amphibius*

Ort: Zoo Berlin (Stall) **Datum:** 24.10.1997

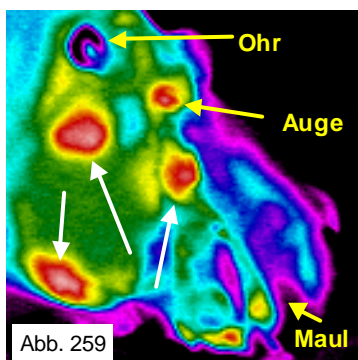


Abb. 259: Kopf des liegenden Tieres

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 3 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Kopf (Nase): 23,6 °C
Kopf (Backe): 27,3 °C
Kopf (Flecken): 30,6 °C
Körper: 22,9 °C
Rückenfleck: 29,4 °C

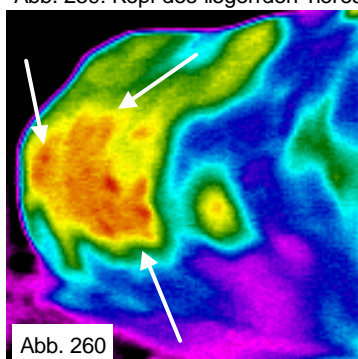


Abb. 260: Rücken des liegenden Tieres

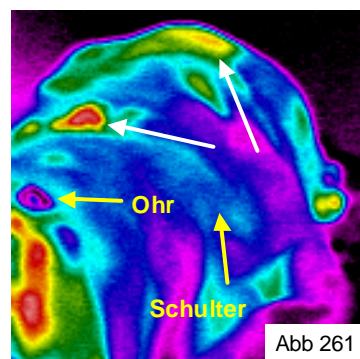


Abb. 261: Liegendes Tier von schräg von vorn

Abb. 259-261: Verdacht auf Herpes-Virus-Infektion

Anamnese: Tier seit einigen Tagen lethargisch; reduzierter Appetit. Kontakt mit erkranktem Tier.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über Teile des Körpers fleckenhaft verstärkt.

Bewertung: Entzündliche Veränderungen der Haut mit Verdacht auf Herpesvirusinfektion.

Verlauf: Tier stirbt an Herz-Kreislauf-Versagen unter der Narkose am 24.11.1997 (Zahn-OP).

Pathologie: Sektion: entzündliche Haut- und Organveränderungen ungeklärter Genese.

Labor: alle Testergebnisse (Herpes-, Aujeszky-, IBR-, Pocken-Viren und Chlamydien) negativ.

F) Technopathien: Stahlseil

Hornverletzung beim Spitzmaulnashorn *Diceros bicornis* Ort: Zoo Leipzig (Außenanlage)

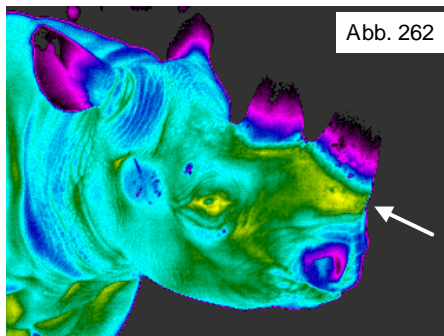


Abb. 262

38,0°C

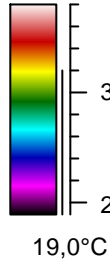


Abb. 262: Entzündung in der Hornwachstumszone

Datum: 20.4.1998

Umgebungstemperatur: 12,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Oberlippe: 25,7 °C

Hornbasis (Haut): 30,7 °C

Hornbasis (Hom): 23,6 °C

Anamnese: Erwachsenes Nashorn scheuert Horn am neuen horizontalen Absperseil im Gehege.

Befund: Horn leicht aufgeraut

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung lokalisiert um Hornbasis herum verstärkt.

Bewertung: Entzündung der Hornwachstumszone nach Abrieb an neu angebrachtem horizontalen Stahlseil.

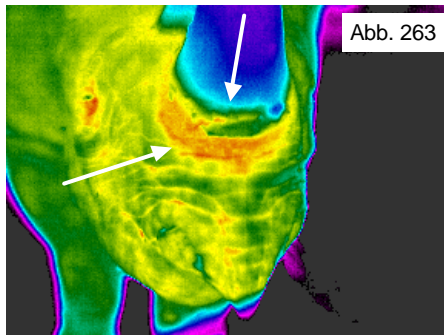


Abb. 263

38,0°C

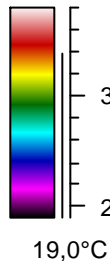


Abb. 263: Hornspalt

Datum: 28.9.1998

Umgebungstemperatur: 20,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 1,5 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Oberlippe: 30,9 °C

Hornbasis (Haut): 33,0 °C

Hornbasis (Hom): 28,9 °C

Befund: Horn an Hornbasis stark eingeschlitz und aufgeraut.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung rund um Hornwachstumszone ungleichmäßig und vermehrt.

Bewertung: Entzündung der Hornwachstumszone verstärkt.

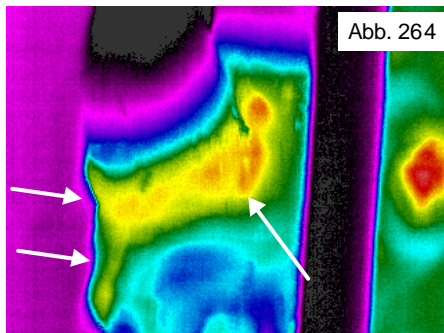


Abb. 264

38,0°C

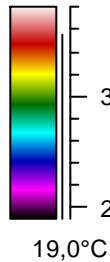


Abb. 264: Entzündung verstärkt

Datum: 18.11.1998

Umgebungstemperatur: 5,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Oberlippe: 25,8 °C

Hornbasis (Haut): 32,3 °C

Hornbasis (Hom): 28,3 °C

Befund: Hornabrieb gleichmäßig verstärkt.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung an Hornbasis über umliegendes Gewebe (Haut) und lokalisiert über proximales Horn verstärkt. Abstrahlung ungleichmäßig.

Bewertung: Entzündung der Hornwachstumszone verstärkt.

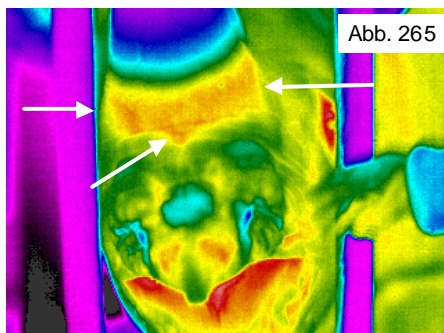


Abb. 265

38,0°C

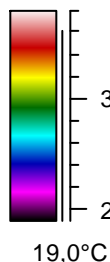


Abb. 265: Regenerationsprozeß

Datum: 17.3.1999

Umgebungstemperatur: 12,0 °C

Tier-Kamera-Abstand: ca. 1 m

Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Oberlippe: 29,6 °C

Hornbasis (Haut): 32,7 °C

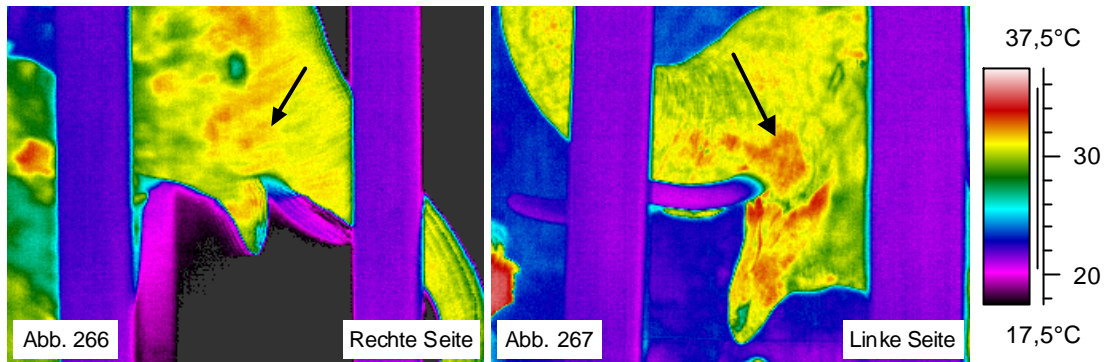
Hornbasis (Hom): 30,5 °C

Befund: Hornabrieb äußerlich nicht mehr erkennbar. Horn gleichmäßig.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung über Hornbasis (Haut) und proximales Horn gleichmäßig stark.

Bewertung: Regeneration des Horns noch nicht abgeschlossen.

Zahnabrieb bei Asiatischem Elefanten *Elephas maximus* Ort: Zoo Leipzig (Stall)



Datum: 18.11.1998

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand: ca. 2 m
Altersgruppe: Adult

Infrarot-Befund:

Kopfseite:	rechts	links
Kopf (Rüsselansatz):	31,2 °C	30,8 °C
Haut - Zahnfalte:	31,5 °C	32,3 °C
Stoßzahn (proximal):	22,6 °C	22,7 °C

Abb. 266-267: Verletzung am Stoßzahnansatz

Anamnese: Abrieb der Stoßzähne proximal (besonders links) an neu angebrachtem horizontalen Absperr-Stahlseil des Geheges.

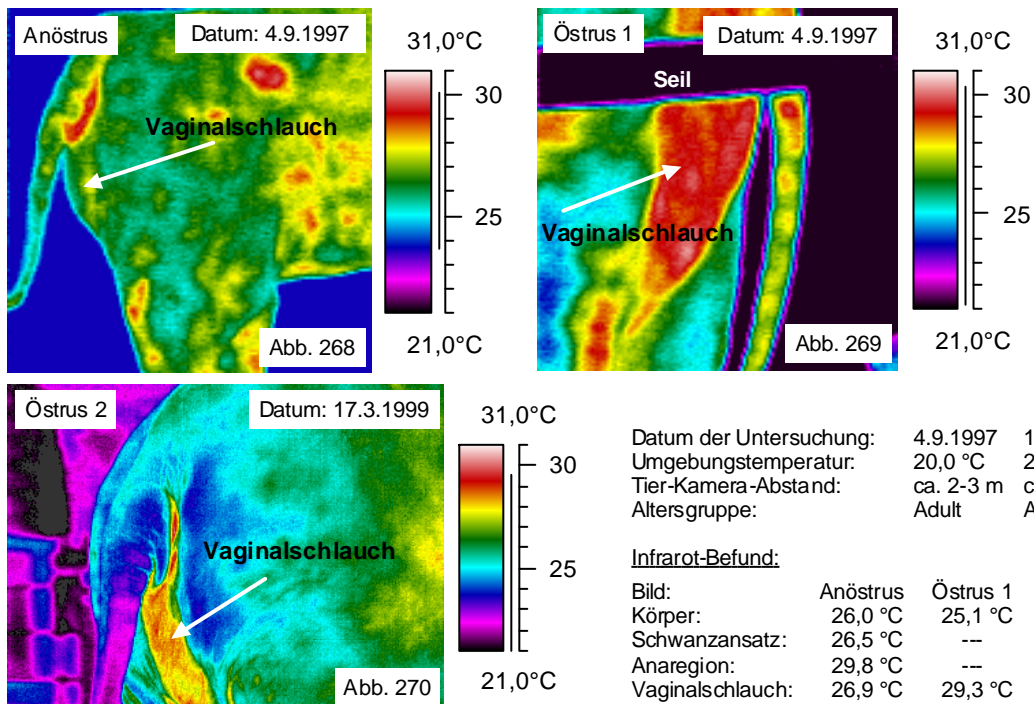
Befund: Deutliche Schleifspuren am linken, weniger deutlich am rechten Stoßzahn, aber ohne Veränderungen der Haut über dem Stoßzahnansatz.

Infrarot-Befund: Wärmeabstrahlung vermehrt über den Hautbezirk des linken Zahnfaches.

Bewertung: Entzündung der Haut bzw. des linken Zahnfaches nach traumatischer Einwirkung.

G) Geschlechtsapparat

Tierart: Asiatischer Elefant *Elephas maximus* Ort: Zoo Leipzig (Außenanlage)



Datum der Untersuchung:	4.9.1997	17.3.1999
Umgebungstemperatur:	20,0 °C	20,0 °C
Tier-Kamera-Abstand:	ca. 2-3 m	ca. 2 m
Altersgruppe:	Adult	Adult

Infrarot-Befund:

Bild:	Anöstrus	Östrus 1	Östrus 2
Körper:	26,0 °C	25,1 °C	25,1 °C
Schwanzansatz:	26,5 °C	--	24,1 °C
Anaregion:	29,8 °C	--	29,2 °C
Vaginalschlauch:	26,9 °C	29,3 °C	28,4 °C

Abb. 268/270: Vaginalschlauch- und Vaginalödem

Anamnese: Ein Tier der Herde fällt durch vermehrten Umfang des Vaginalschlauches auf.

Befund: Periodische Umfangsvermehrung des Vaginalschlauches.

Wärmeabstrahlung über ödematisierten Vaginalschlauch stärker als über den Körper.

Bewertung: Vaginalödem in der Östrus-Zyklusphase.

7.2 Diskussion zur Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie

Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie wurde bei Zootieren erstmals im Leipziger Zoo bei einer Elefantenkuh im Rahmen der Behandlung einer Nagelbettentzündung („Hufkrebs“) durchgeführt (EULENBERGER & KÄMPFER 1994). Wie in der Einleitung besprochen, ist diese Technik in der Pferdemedizin in Großbritannien weit verbreitet und wird auch zur Prävention von klinischen Lahmheiten im Pferderennsport häufig eingesetzt.

In der Entzündungsdiagnostik beruht die Anwendung der Infrarot-Thermographie auf den grundlegenden Prinzipien der Pathologie. Von den fünf klassischen Kardinalsymptomen einer Entzündung, Rubor, Calor, Dolor, Tumor und Functio laesa macht sich die Infrarot-Thermographie die Erwärmung (Calor), die Schwellung (Tumor) und u.U. die Funktionsalteration (Functio laesa) eines Organs zunutze, um pathologische Prozesse, schmerzhafte Bewegungseinschränkungen, Nervenausfälle, pathologische Durchblutungsverhältnisse u.a. zu erkennen bzw. möglicherweise deren Ursprungsherde aufzudecken. Mittels Thermographie können relativ leicht z.B. bei vielen Entzündungen pathologisch erwärmte bzw. bei Ödemen pathologisch abgekühlte Regionen der Körperoberfläche ermittelt werden. Auch der Ausfall von Nervensträngen mit dadurch bedingter veränderter Durchblutung, wie z.B. beim Horner Syndrom, kann mittels Thermographie diagnostiziert werden (PUROHIT *et al.* 1980). Studien über die Auswirkung von Schmerzen zeigten, daß die damit assoziierte Überaktivität des Sympathikus zu einer Temperaturminderung in dem betroffenen Gebiet führte (UEMATSU 1976). Eine Blockade des Sympathikus würde demnach zu einer Temperaturerhöhung führen, was beim Horner Syndrom nachgewiesen wurde (PUROHIT *et al.* 1980). Kurz gesagt, bietet sich die Infrarot-Thermographie als diagnostisches Hilfsmittel bei allen Krankheitsprozessen an, die in irgendeiner Form mit Veränderungen der Durchblutung und damit des lokalen oder allgemeinen Wärmehaushaltes einhergehen. Wichtig ist, daß diese Prozesse eine Auswirkung auf die Körperoberfläche haben und dadurch darstellbar werden.

Es muß jedoch deutlich betont werden, daß die Infrarot-Thermographie im Zusammenhang mit der Diagnostik oder Therapiekontrolle von Entzündungs- bzw. anderen krankhaften Prozessen, die mit Temperaturveränderungen einhergehen, immer nur eine Eingangs- oder Screeningmethode bzw. ein Hilfsmittel darstellt. Die Thermographie kann wertvolle Hinweise geben, besonders was die Lokalisation und den Verlauf eines krankhaften Prozesses angeht, sollte aber in der Regel durch andere diagnostische Maßnahmen ergänzt oder abgesichert werden. Dies gilt insbesondere so lange, bis sie durch eine Vielzahl von noch zu erstellenden Basisdaten als Vergleichsmöglichkeit auf einem einwandfrei gesicherten Fundament steht. Es kann jedoch gesagt werden, daß bisherige Ergebnisse eine gute Prognose für die weitere Entwicklung der Methode erlauben.

Für die Entstehung von Entzündungen bei Zootieren spielen u.a. die Haltungsbedingungen eine ganz wichtige Rolle. Anketten von Elefanten, das zu „Webeverhalten“ und somit zu unphysiologischer Beanspruchung der Gelenke führt, Nagelbettentzündungen auf Grund von Übergewicht, Fehlernährung und ungenügender Nagelabnutzung, Entzündungen im Bereich der Füße durch unsachgemäße Fußböden sind Beispiele hierfür. Neue Gehegeeinrichtungen oder Umgrenzungen können zu Verhaltensänderungen der Tiere führen und dadurch Ursache von Verletzungen sein. Je früher derart schädigende

Einwirkungen erkannt werden, desto besser lassen sie sich abstellen bzw. läßt sich ihnen vorbeugen. Die Nutzung der Infrarot-Thermographie stellt eine hervorragende Möglichkeit dar, den Gesundheitszustand der Tiere zu überwachen, ohne die Tiere selbst in irgendeiner Weise für die Untersuchung beeinflussen bzw. beeinträchtigen zu müssen.

ANORDNUNG DER BEISPIELE

Die Infrarot-Bilder sind nach klinischen Befunden bzw. diagnostischen Fragestellungen geordnet, um dem Betrachter eine erste Einschätzung der Leistungsfähigkeit der Infrarot-Thermographie auch auf diesem Gebiet zu ermöglichen, auch wenn es noch zahlreicher weiterführender Untersuchungen bedarf, bevor die Methode routinemäßig genutzt werden kann.

Störungen im Bewegungsapparat

Eine Asiatische Elefantenkuh (Abb. 205-206) zeigte bei längerem Anketten intensives Webeverhalten. Durch die Intensität der seitlich schaukelnden Bewegungen wurden die Gelenke, insbesondere Schulter-, Hüft-, Knie- und Tarsalgelenke, unphysiologisch und stark beansprucht. Sie wurden verstärkt durchblutet, dadurch wärmer und gaben entsprechend auch meßbar vermehrt Wärme ab. Fast alle Gelenke sind auf den Infrarot-Bildern durch vermehrte Wärmeabstrahlung gekennzeichnet. Diese pathologische Wärmeabgabe konnte auch noch später bei diesem Tier beim Laufen auf der Außenanlage, Stunden nach dem Abketten, beobachtet werden. Das Anketten von Elefanten ist heute eine noch immer akzeptierte Form der Elefantenhaltung und in vielen Zoos auch die einzige Möglichkeit der Haltung (DOYLE 1999). Die hier vorgestellten Thermogramme sollten Anlaß genug sein, die Praktik des Ankettens neu zu überdenken und massiv einzuschränken. Möglicherweise sollten auf Grund solcher und weiterer Untersuchungen neue Haltungsrichtlinien erarbeitet werden. Hier könnte die Infrarot-Thermographie also nicht nur für bessere Tierhaltung, sondern auch für einen notwendigen Tierschutz eingesetzt werden.

Eine Netzgiraffe (*Giraffa camelopardalis reticulata*) (Abb. 207-208) ließ seit einigen Jahren Bewegungsstörungen, kombiniert mit Knackgeräuschen, erkennen. Die Infrarot-Aufnahmen zeigen an den Vorder- im Vergleich zu den Hinterbeinen massiv vermehrte Wärmeabstrahlung über Karpal- und Fesselgelenke, über die Klauen sowie über das linke Sprunggelenk. Die Veränderungen waren von allen Blickwinkeln kontinuierlich sichtbar. Kontinuität der verstärkten Wärmeabstrahlung über die Gelenke bedeutet, daß diese entzündlich verändert sind (TURNER 1991). Das Tier wurde zwei Wochen später eingeschläfert. Die Sektion ergab arthrotische Veränderungen der Gelenkknorpel der Karpal-, Fessel- und Tarsalgelenke (WEILER 1997a). Die pathologisch-anatomischen Veränderungen waren an den Vorderbeinen wesentlich stärker ausgeprägt als an den Hinterbeinen. Der pathologisch-anatomische Befund bestätigte voll den thermographischen.

Die Thermographie wird seit einiger Zeit gezielt zur Lahmheitsdiagnostik in der Pferdepraxis eingesetzt (TURNER 1991, WALDSMITH 1992). Die Zootiermedizin kann diese Erkenntnisse für sich nutzen und adaptieren. Eine Verifizierung der Infrarot-Befunde unter Zuhilfenahme anderer Techniken sowie pathologisch-anatomischer Befunde, wie hier geschehen, können die Zuverlässigkeit der Thermographie beweisen und ihre Anwendbarkeit und Akzeptanz fördern. Voraussetzung ist jedoch zunächst die quantitative Erfassung von „Normalwerten“ unter diversen Umweltbedingungen. Bei-

spielsweise könnten im Fall einer geplanten notwendigen Euthanasie das entsprechende Tier kurz zuvor intensiv thermographiert und die Befunde anschließend durch die Obduktion überprüft werden. Wichtig zu wissen ist auch, daß die Abstrahlung über größeren oberflächlichen Venen normal höher ist als über Muskeln oder Arterien (DRAPER & BOAG 1971b, TURNER 1993).

Bei der Lahmheitsuntersuchung eines alten Spitzmaulnashorns im Zoo Zürich deckten die Infrarot-Aufnahmen (Abb. 209-210) eine vermehrte Wärmeabstrahlung am linken Vorderfuß und noch verstärkt über den Oberschenkel sowie Knie- und Sprunggelenke des rechten Hinterbeins auf, die eindeutig als pathologisch zu bewerten waren. Das Nashorn war mit der Anamnese vorgestellt worden: Lahmheit vorn links. Die Thermographie zeigte aber die Oberschenkel/Knieregion hinten rechts als den Ort der eigentlichen Lahmheit an (Abb. 209). Die beobachtete Lahmheit vorn links (Abb. 210) war durch die Entlastung des rechten Hinterbeins entstanden. Das Tier versuchte so Schmerzen zu minimieren. Es ist äußerst schwierig, den Ort einer Lahmheit bei einem Zootier zu erkennen. Meist sind Zootiere einer direkten Palpation nicht - oder nur unter Narkose - zugänglich. Die Thermographie kann u.U. die Palpation ersetzen. Die Frage nach der Ursache, ob es sich hierbei um einen arthritischen oder arthrotischen Prozeß, um eine Distorsion oder um einen Muskelfaserriß handelte, konnte die Infrarot-Thermographie selbstverständlich allein nicht abklären. Bei einem Fall aus der Pferde-medicin mit ähnlichem Befund wie bei dem Nashorn aus Zürich konnte nach Lokalisation des Ursprungsortes der Lahmheit mittels Infrarot-Kamera eine Ultraschalluntersuchung die Ursache abklären: Muskelbauchriß. Ohne Thermographie aber war der Ort der Lahmheit nicht auszumachen gewesen, so daß erst eine Kombination beider Methoden zu guten diagnostischen Ergebnissen und entsprechender Therapie führte (WALDSMITH 1992).

Die Infrarot-Bilder eines klamm gehenden, älteren Shire-Horses (*Equus przewalski f. caballus*) im Zoo Erfurt (Abb. 211-212) zeigen vermehrte Wärmeabstrahlung über die Hinterbeine, besonders links. Gegenüber einem Vergleichstier (Abb. 213) waren beide Unterschenkel durch starke Abstrahlungen gekennzeichnet. Die Infrarot-Thermogramme erlauben eine Abgrenzung und Lokalisation von pathologischen Prozessen und verdeutlichen die Ausdehnung oder ihr Ausmaß (TURNER 1991). Die Wärmeabstrahlung auf der Innenseite der Hinterbeine dieses Pferdes war um mehr als 3 °C stärker als die der Außenseite und somit als pathologisch anzusehen (PUROHIT & McCOY 1980). Ferner zeigten gegenüber einem Vergleichstier die Beine insgesamt eine um 5-6 °C stärkere Abstrahlung an der Außenseite der Unterschenkel, eine um 4-5 °C stärkere über den lateralen und um 3-4 °C stärkere über den medialen Seite der Sprunggelenke (Abb. 213). Die Veränderungen bei diesem Tier waren weitreichend und hatten sehr wahrscheinlich vielfältige Ursachen wie z.B. Arthritis, Arthrose, Tendovaginitis, Bursitis oder Myositis. Solche gravierenden Veränderungen wurden in der Rennpferdemedicin bisher nicht beschrieben, so daß eine Ermittlung der Ursachen nur mit anderen Techniken geklärt werden könnte. Eine Arthritis allein lag hier sicher nicht vor, da sie innen und außen am Gelenk stark begrenzte Veränderungen hervorgerufen hätte (PUROHIT 1980). Ähnliche Veränderungen in der Wärmeabstrahlung des medialen Sprunggelenks und des Unterschenkels wie bei dem Shire-Horse (Abb. 211-212) wurden bei einem Standardbred-Rennpferd durch eine Sklerose hervorgerufen. Die Diagnose: Osteoarthritis des dorsalen Metatarsus III konnte mit zunehmender Lahmheit und klinischer Manifestation bei dem Rennpferd schließlich im Röntgenbild verifiziert werden. Die Thermographie ließ über die pathologisch veränderte Wärmeabstrahlung die

Ursache der subklinischen Lahmheit schon lange vor der Radiologie erkennen (VADEN *et al.* 1980). In einer vergleichenden Methodenarbeit von STRÖMBERG (1973) konnte die Thermographie bei der Lahmheitsdiagnostik der oberflächlichen Beugesehnen bei Rennpferden alle Sehnenveränderungen aufdecken, auch solche, die sich erst ein bis zwei Wochen später klinisch manifestierten. Diese feinen Sehnenveränderungen sind sonst nur mit invasiven Methoden wie Mikroangiographie mittels radioaktiven Markern nachweisbar. Auch bei Military-Pferden konnten Veränderungen in der Wärmeabstrahlung über Sehnen beobachtet werden. Einige Zeit später lahmt das Pferd dann auf dem Bein, an dem die Veränderung beobachtet worden war (MARR 1992). Bei Schweinen konnten ebenfalls Ursachen von Lahmheiten mittels Thermographie erkannt werden (ŠABEC & LAZAR 1990). Bei den untersuchten Schweinen waren die Veränderungen an den Gelenken aber schon weit fortgeschritten, ähnlich wie bei diesem Shire-Horse.

Bei einem jetzt 32 Jahre altem Zwergflußpferd (Abb. 215), das ebenfalls wegen Bewegungsstörungen auffällig war, konnte gegenüber einem Vergleichstier (Abb. 214) eine massiv vermehrte Wärmeabstrahlung an den Hinterbeinen festgestellt werden. Besonders über Knie-, Unterschenkel- und Metatarsalregion war die Abstrahlung vermehrt, links noch deutlich stärker als rechts. Aus der Pferdethermographie ist bekannt, daß die dorsale Seite des Metatarsus die kälteste Region des Hinterbeines darstellt (PUROHIT & McCOY 1980), was durch das Vergleichstier auch für das Zwergpflußpferd bestätigt wurde. Die vermehrte Wärmeabstrahlung des erkrankten Tieres (Abb. 215) war über den lateralen und medialen Aspekten der Hinterbeine zu beobachten. PURHOIT (1980) berichtet über ein Experiment, bei dem an 12 Ponies eine Sprunggelenksarthritis künstlich mit Amphotericin B herbeigeführt und thermographisch sowie radiologisch überwacht wurde. Die entstehenden Arthritiden zeigten sich jeweils auf der Innen- und Außenseite der Gelenke. In Anlehnung an diese Experimente kann bei dem Zwergpflußpferd auf eine Arthritis und/oder Arthrose des Kniegelenks und eine Tendovaginitis bzw. Bursitis einer oder mehrerer Sehnen und Schleimbeutel der Knie- bis Metatarsalregionen geschlossen werden. Eine Therapie mit Ibuprofen® (NSAID) führte bald zu einer Besserung.

Traumatologie

Während der Überwachung des Heilungsprozesses bei einem Moschustier (*Moschus moschiferus*) wurden thermographisch zwei Wärmeherde über dem Metatarsus beobachtet anstellen von nur einem (Abb. 216). Das Tier war bereits mehrfach wegen einer nicht heilenden Knochenfraktur im distalen Metatarsalbereich operiert worden. Nach den neuen thermographischen Befunden wurde die letzte Röntgenaufnahme nochmals vorgenommen. Auf ihr konnte zusätzlich zu der Frakturstelle am distalen Metatarsus noch eine schwer erkennbare Haarrißfraktur am proximalen Metatarsus festgestellt werden. Schon EULENBERGER & KÄMPFER (1994) konnten eine Chipfraktur bei einem Pferd mittels Thermographie lokalisieren. Die Infrarot-Thermographie hat sich schon in den 60er Jahren in der Humanmedizin bei der Erkennung von Knochenkrankungen als hilfreich erwiesen. Z.B. die Ausdehnung von Knochentumoren, besonders solche bösartiger Natur, wurde weit sicherer mittels Thermographie als mittels einfacher Radiologie erfaßt (KEYL & HÖR 1974, WALLACE 1974, SCHWAMM 1980b). Die Sensibilität der Thermographie zeigt sich auch in dem hier vorliegenden Fall des Moschustieres und bestätigt, daß die Thermographie einen berechtigten Platz neben anderen Untersuchungsmethoden hat.

Ein vor wenigen Monaten importierter Afrikanische Jungelefant des Zoo Erfurt (Abb. 217-221) fiel durch undefinierte rezidivierende Lahmheiten auf. Es war unklar, ob sich die Bewegungsstörungen mehr auf die Vorder- oder auf die Hinterbeine bezogen. Das Tier soll vor dem Transport unauffällig gewesen sein. Unter der Infrarot-Thermographie fiel auf, daß sowohl über die Innenseite des rechten Vorderbeins als auch über die Außen- und Innenseite des linken Hinterbeins vermehrt Wärme abgestrahlt wurde. Die stärksten Veränderungen waren über Hüft-, Knie-, Sprung- und Tarsalgelenk zu beobachten. Da jedoch vermehrte Wärmeabgabe über alle Gelenke, wenn auch nicht so deutlich wie über den Entzündungsherden, zu erkennen war, mußten diagnostische Überlegungen berücksichtigen, daß bei Jungtieren sicherlich die stärker durchbluteten Wachstumszonen in Gelenknähe entsprechend vermehrt Wärme abstrahlen. Dies kann auf dem Infrarot-Thermogramm als wahrscheinlich physiologischer Befund angesehen werden. Hierzu fehlen jedoch bislang Vergleichsuntersuchungen mit dieser und anderen Methoden. Die hier jedoch im Vergleich zu den korrespondierenden Gliedmaßen deutlich vermehrte Wärmeabstrahlung besonders der Gelenke der linken Hinter- wie auch der rechten Vorderextremität ließen auf pathologische Veränderungen schließen, verursacht wahrscheinlich durch exogene Traumata oder unphysiologische Belastungen während des Transportes. In diesem Fall könnten laufende Kontrolluntersuchungen zur Klärung führen.

Bei einer Asiatischen Elefantenkuh (Abb. 222-223) galt es, die Ursache der Lahmheit nach Herumtollen auf der Außenanlage abzuklären. Die Infrarot-Aufnahmen zeigen einen umschriebenen Wärmebezirk auf der rechten Seite, der dem Ellbogengelenk zuzuordnen ist. Es handelte sich offenbar um eine Distorsion, die entsprechend behandelt werden konnte. Einen vergleichbaren Fall beschrieb HARPER (2000) bei einem Hund, dessen Lahmheit ein Jahr lang nicht konkret lokalisiert werden konnte. Erst die Thermographie ließ die Veränderung des Ellenbogengelenks deutlich erkennen.

Eine weitere Asiatische Elefantenkuh (Abb. 224) hatte sich bei Rangordnungsstreitigkeiten das rechte Bein zwischen den Absperr-Gitterstäben eingeklemmt und lahmt seitdem. Die Untersuchung zeigte den Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Vorderbein. Im Thermogramm sieht man auf der Innenseite des rechten Vorderfußes den stark geröteten Bezirk verstärkter Wärmeabstrahlung und somit ein Entzündungszeichen. Die Verdachtsdiagnose einer Distorsion bzw. Zerrung der Innenbänder des Karpalgelenks und angrenzender Muskeln konnte somit gestellt werden. Da Röntgen auf Grund der Dicke der Beine bei Elefanten sehr schwierig und Ultraschall von außen wegen der rauen Haut fast unmöglich ist, bietet die Infrarot-Thermographie eine gute Möglichkeit, bei Elefanten Entzündungsherde zu lokalisieren. Die Symmetrie der Wärmeabstrahlung zwischen rechter und linker Körperseite ist der Schlüssel zu vielen Diagnosen mittels Thermographie. Schon Abweichungen von 1,0 °C und mehr können auf pathologische Prozesse hinweisen (TURNER 1993). In fortschrittlichen Pferdepraxen mit viel Rennpferde-Klientel in England gehört die Infrarot-Thermographie inzwischen oft schon zu den Standard-Methoden. Sie ermöglicht eine schnelle und objektive Beurteilung des gesamten Bewegungsapparates und macht eine zeitaufwendige Lokalisierung des Problems durch die Sonographie meist überflüssig. Der Ort des Geschehens wird schnell gefunden und dann der Einsatz geeigneter weiterführender Diagnosemaßnahmen gezielt und ökonomisch vorgenommen (ALLEN & PASCOE 1998).

Eine Afrikanische Elefantenkuh (Abb. 225-227), die im Zoo Osnabrück in den Absperrgraben gestürzt war, zeigte seitdem eine ungeklärte Lahmheit im linken Hinter-

bein. Die Infrarot-Aufnahme läßt vermehrte Wärme über der Knieregion der linken Seite erkennen. In den Bildern ist eine vermehrte Abstrahlung sowohl lateral über die Hautfalte vor der Kniescheibe als auch medial über die Knieregion zu erkennen. Der Entzündungsherd lag also in der medialen linken Knieregion und der zugehörigen Adduktoren-Muskulatur. Es konnte sich um eine Gelenks-Distorsion oder auch einen Muskelfaserriß im Adduktorenbereich handeln. Da das eigentliche Gelenk von lateral keine vermehrte Wärmeabstrahlung zeigte, wurde das Tier auf einen Muskelfaserriß behandelt. Die Behandlung erwies sich als erfolgreich, so daß keine weiteren Untersuchungen anberaumt wurden.

„Hufkrebs“

Nagelbettentzündungen (Pododermatitis oder „Hufkrebs“) und Hornrisse am Nagel (Abb. 228-238) kommen in Zoologischen Gärten und im Zirkus bei Asiatischen Elefanten häufig vor, aber auch bei Tieren in freier Wildbahn. Die Ursachen sind bislang nicht eindeutig geklärt, aber wahrscheinlich multifaktoriell: Problematische Haltungsbedingungen, z.B. Fehlernährung mit Proteinüberschuß und einer Unterversorgung mit Vitamin E und Vitamin C, unsachgemäße (Beton-)Fußböden, schlechte Hygiene im Stall oder auf der Außenanlage, mangelhafte Bewegung (zur Abnutzung der Fußnägel), schlechte oder ungenügende Fußpflege werden von FOWLER (1993) und KUNTZE (1997) genannt. Verletzungen mit anschließender Infektion durch ubiquitäre Keime wie *Escherischia coli*, *Proteus spec.*, *Pseudomonas spec.* und auch *Bacteroides fragilis* können eine Rolle spielen (FOWLER 1993, KUNTZE 1997). Bei der hier vorgestellten Elefantenkuh konnten fünf verschiedene Keime mikrobiologisch nachgewiesen werden. In Zoo- und Zirkushaltungen fehlt bei Elefanten oft auch die Nutzung der Füße zur Nahrungssuche, da den Tieren die Nahrung meist „maulgerecht“ angeboten wird. Der Aufenthalt in Wasserbecken und Schlammsohlen ist eingeschränkt bzw. nicht möglich. Diese Verhaltensweisen können bei wild lebenden Tieren häufig beobachtet werden. Ihr Fehlen sollte als mögliche Ursache mit berücksichtigt werden, da die Nägel so weniger abgenutzt werden und der Haut weniger Reinigung und Feuchtigkeit zukommen, trotz intensiver und guter Pflege durch die Tierpfleger. Sicherlich spielt auch eine genetische Prädisposition eine Rolle.

Abbildungen 228-229 stellen zunächst Bilder und Werte unauffälliger Füße eines Jung-elefanten vor. Im Vergleich hierzu lassen Abbildungen 230-236 eine rezidivierende Pododermatitis septica chronica, auch im Therapieverlauf, erkennen. Die Thermogramme einer älteren Asiatischen Elefantenkuh zeigen bei den Untersuchungen im Verlauf von 2 Jahren über beiden Vorderfüßen, links wesentlich ausgeprägter als rechts, Wärmeareale unterschiedlicher Intensität. Im Dezember 1999 waren diese Regionen vermehrter Abstrahlung schließlich fast vollständig verschwunden. Die Betrachtung dieser Aufnahmen macht deutlich, wie wichtig für einen Zoo, gerade in der Fragestellung der Verursachung und Früherkennung von Rezidiven sowie der Erfolgskontrolle der Therapiemaßnahmen, die ständige bzw. kontinuierliche thermographische Überwachung der Tiere sein könnte. „Hufkrebs“ bei Elefanten ist aber kein ausschließliches Problem der Haltung von Wildtieren in Menschenhand. Auch bei Afrikanischen Elefanten im Krüger Nationalpark in Südafrika konnten Pododermatitiden beobachtet werden (KEET *et al.* 1997).

Abbildungen 237-238 zeigen Bilder der Vereisungstherapie einer Nagelbettentzündung bei einem Asiatischen Elefanten. Das Tier wurde mit Vereisung therapiert, nachdem medikamentöse und externe Behandlungen erfolglos schienen. Die Vereisung wurde

unter Infrarot-Kontrolle so lange durchgeführt, bis die Region des erkrankten Nagelbetts negative Temperaturen aufwies und somit die Hoffnung bestand, Keime im Nagelbett zumindest im Wachstum einzuschränken. Es war für den Eingriff der Vereisung ein Vorteil zu wissen, wie weit die entsprechende Kühlung ins Gewebe eingedrungen war. Vergleichsuntersuchungen gibt es bisher m.E. nicht.

Die ältere Afrikanische Elefantenkuh des Erfurter Zoos (Abb. 239) hatte einige Zeit vor der Untersuchung einen Abszeß lateral im linken Vorderfuß. Das Infrarot-Bild zeigt, daß dieser alte Abszeßbereich deutlich weniger Wärme abstrahlt als das umgebende Gewebe. Der Abszeß war offenbar vollständig ausgeheilt und bindegewebig organisiert. Mit einer bindegewebigen Organisation und Vernarbungen geht eine Rückbildung der Kapillaren mit dadurch bedingter verminderter Durchblutung einher (DÄMMRICH 1990). Damit ergibt sich eine verminderte Wärmeabstrahlung in diesem Bereich, wie in Abbildung 239 deutlich zu erkennen ist.

Traumatische Veränderungen an den Extremitäten sind, wie bereits die hier aufgeführten Beispiele deutlich machen, ein wichtiger Anwendungsbereich für die Infrarot-Thermographie. Die Pferde-Rennsportmedizin ist beim Einsatz der Thermographie die fortschrittlichste Sparte der Veterinärmedizin, wie die angeführte Literatur beweist. Die Thermographie wird von der Praktikergruppe der Rennsporttierärzte als „Heat waves of the future“ bezeichnet, da sie unter kontrollierten Bedingungen eine so unkomplizierte Diagnostik erlaubt wie sonst keine andere technische Methode (HERBERT 1998, 1999). Neben dem Einsatz der Thermographie im Rennsport zur Diagnose von Arthrosen, Arthritiden und Tendovaginitiden kann z.B. auch die Podotrochlose mittels Thermographie diagnostiziert werden. Letztere ist nach einem kurzen Belastungstest durch verminderte und nicht vermehrte Wärmeabstrahlung in der tiefen Beugesehenregion gegenüber einem gesunden Bein gekennzeichnet (TURNER *et al.* 1983). Rennpferdetrainer nehmen diese neue Methode gern auf, da ihre Pferde im Training weniger Ausfallzeiten auf der Rennbahn zeigen (SYKES 1998). Ein starkes Interesse fand diese Methode auch bei Zootierpflegern. Selbst Hufschmiede setzen diese Methode schon erfolgreich zur Überprüfung der Nagelung neuer Hufeisen ein und können so Lahmheiten durch schlecht sitzende Nägel oder geringgradig schiefen Hufstand vermeiden (LESSITER 1998). Auch hier ist die Methode weiter ausbaufähig.

Erkrankungen mit Hautbeteiligung

Oberflächliche Hautverletzungen sind bei Nashörnern nicht selten. Stereotypes Umkreisen bzw. „Umschleifen“ der Gehegeaußenwände des Stalls sowie das Reiben an scharfkantigen oder rau verputzten Gehegemauern können leicht zu Verletzungen der Haut bzw. zu Hautabschürfungen führen.

Abbildung 240 beim Breitmaul- und Abbildungen 241-242 beim Panzernashorn zeigen umgrenzte klein- bis großflächige pathologische Wärmebezirke der Haut an Körper (Abb. 240), Kopf und Nase (Abb. 241-242). Diese Veränderungen waren die Folge von Hautreizungen durch Abschürfungen. Auffällig ist bei diesen Hautabschürfungen die fleckige Struktur des Areals im Infrarot-Bild (Abb. 240). Solche Wärmemuster wurden auch bei trächtigen Breitmaulnashörnern des gleichen Zoos gefunden. Durch genaue Adspektion der Haut auf feine Schürfwunden und durch Mehrfachuntersuchungen mit der Infrarot-Kamera kann ein erfahrener Untersucher Fehldiagnosen jedoch weitestgehend vermeiden. Die durch Gehegeeinrichtungen verursachten Hautreizungen wurden hauptsächlich im Winter beobachtet, wenn die meisten Tiere ganztägig im Stall bleiben

mußten. Auch hier sollte in weiteren Untersuchungen ein größerer Stichprobenumfang angestrebt werden, um die Häufigkeit der Überlagerung von Trächtigkeitsfeldern durch solche Hautreizungen zu ermitteln.

Im Dezember 1999 wurde vom Zoologischen Garten Erfurt eine ältere Giraffe vorgestellt, die angeblich ein Jahr zuvor hochträchtig gewesen sein sollte. Die thermographische Untersuchung zeigt in sehr auffälliger Weise (Abb. 243-246) im Minutenabstand wechselnde, also inkonstante Felder vermehrter Wärmeabstrahlung am Bauch. Diese Inkonstanz betraf besonders die rechte Seite, wie die Abbildungen zeigen (Abb. 244 und 246). Das Infrarot-Bild änderte sich im Minutenabstand von vermehrter zu verminderter Wärmeabstrahlung. Dieses Phänomen sprach dafür, daß hier keine Trächtigkeit vorlag. Auch TURNER (1991) postulierte für die Thermographie bei Tieren, daß von jedem Tier mehrere Infrarot-Bilder im Minutenabstand oder in Folgeuntersuchungen gemacht werden sollten, um Fehldiagnosen möglichst zu vermeiden. Bei dieser Untersuchung waren die Minutenabstände entscheidend. Die Anamnese war wie folgt: Dieses Tier war im Dezember 1998 in den Graben gestürzt, konnte sich selbst befreien, zeigte aber massive Abschürfungen und teilweise tiefere Verletzungen der äußeren Haut, besonders am Bauch. Auf Grund der thermographischen Untersuchungsergebnisse mußte angenommen werden, daß entweder durch das Trauma die Trächtigkeit abgebrochen wurde und nunmehr eine Steinfrucht vorlag oder daß die frühere Vermutung einer Trächtigkeit falsch war. Die vermehrte und fleckige Wärmeabstrahlung über den Bauch kam sicherlich auf Grund von narbigen Verwachsungen innerhalb der Hautstrukturen oder Verwachsungen innerer Organe mit der Haut zustande. Die Inkonsistenz der Wärmeabstrahlung könnte mit der wechselnden Durchblutung der Bauchwand bzw. durch die Gewebereizungen im Narbenbereich erklärt werden. Eine Trächtigkeit konnte auf Grund des Vergleichs mit den Datenbankbildern trächtiger Giraffen ausgeschlossen werden. Hormonuntersuchungen dieser Giraffe an der Universität Leipzig zeigten eine zyklische Periodik. Auch über das Hormonprofil konnte eine Trächtigkeit und weitgehend auch eine Steinfrucht ausgeschlossen werden (EULENBERGER 1999).

Eine Afrikanische Elefantenkuh (Abb. 247-248) stellte seit einiger Zeit ständig ihr linkes Ohr vom Körper ab. Es wurde eine Schwellung beobachtet. Thermographisch ließ sich eine verstärkte Wärmeabstrahlung im Schwellungsbereich nachweisen. Der Vergleich mit dem rechten Ohr läßt deutlich die Dimension des pathologischen Befundes erkennen (Abb. 248). Es handelte sich sehr wahrscheinlich um einen Abszeß im Ohrgrund. Abszesse treten bei Elefanten in Zoologischen Gärten häufiger auf, z.B. nach Gabe von Spritzen, Einsatz von Elefantenhaken oder nach Verletzungen anderer Genese (GÖLTENBOTH 1997a).

Infektionskrankheiten

Die Abbildungen 249-261 stellen zwei klinische Fälle einer Infektionskrankheit bei Flußpferden (*Hippopotamus amphibius*) vor. Flußpferde sind normalerweise selten krank (EULENBERGER 1997). Im vorliegenden Fall erkrankten drei von vier Tieren innerhalb eines Jahres meist schwer. Hier mußte zunächst ein Zusammenhang mit neuen Haltungsbedingungen und Transportstreß gesehen werden. Die Flußpferde waren in das neue Flußpferdhaus des Zoologischen Gartens Berlin umgestellt worden. Ein Tier kam aus einem anderen Zoologischen Garten. Das älteste Tier war noch im alten Flußpferdhaus vor dem Umzug schwer erkrankt, magerte stark ab, genas aber nach vielen Wochen. Dieses Flußpferd wurde erst später, als es sich erholt hatte, in das neue Haus umgestellt. Die zwei jüngeren Tiere wurden nach kurzer Quarantänezeit des auswärtigen Flußpferdes zu diesem Tier in das neue Haus umgesiedelt. Keines der Tiere war vorher je ernsthaft erkrankt gewesen (GÖLTENBOTH 1997b).

Kurze Zeit nach dem Umzug ins neue Haus erkrankte das aus einem anderen deutschen Zoo zugegangene Tier. Es war schlapp bis apathisch, fraß nicht mehr und lag teilnahmslos in der Ecke. Die äußere Haut zeigte an fast allen Körperabschnitten eine rissige Struktur mit schwarzen Punkten sowie kleinen rundlichen roten Effloreszenzen (Abb. 249-250). Das Tier magerte zusehends ab. Auf den Infrarot-Bildern erkennt man eine fleckige Wärmeabstrahlung über den gesamten Körper, besonders über Rücken, Bauch und Beinen sowie über den Unterkieferbereich (Abb. 251-258). Bei diesem Flußpferd war zum Zeitpunkt der Infrarot-Thermographie das Krankheitsbild bereits voll ausgeprägt. Eine Hautbiopsie ergab keinen Hinweis auf Pocken- oder Herpesviren. Das Tier erholte sich nach einigen Wochen vollständig.

Einige Wochen später erkrankte ein anderes Flußpferd mit ähnlichen Symptomen. Die zugehörigen Infrarot-Aufnahmen (Abb. 259-261) zeigen vermehrte Wärmeabstrahlung an Rücken und Kopf. Bei einer Adspektion der Haut konnte keine Veränderung festgestellt werden. Hier war die Krankheit noch in den Anfängen. Die Infrarot-Bilder zeigten bereits einige Tage vor dem Auftreten entsprechender klinischer Symptome erkennbare Änderungen im Wärmeprofil. Einige Tage später traten klinische Hautveränderungen auf. Auch dieses Tier magerte stark ab und erholte sich nur langsam. Da es in der Vergangenheit oft Zahnprobleme hatte, weswegen es nicht mehr kauen konnte, wurde eine Narkose angesetzt, um eine gründliche Untersuchung durchzuführen. Das Tier hatte sich weit genug erholt, um dies riskieren zu können (GÖLTENBOTH 1997c). Leider verstarb das Flußpferd unter der Narkose. Die pathologische Untersuchung ergab keinen Nachweis auf Herpes- oder Pockenviren, oder Herpes-B-Antikörper (WITTSTATT & HENSCHKE 1997). Nach dem klinischen Bild waren diese Erreger vermutet worden. Die Ursache der Hautveränderungen der drei Flußpferde blieb ungeklärt. Daß ein infektiöses Geschehen vorgelegen hatte, war jedoch auf Grund des Krankheitsverlaufes der drei Tiere zweifelsfrei. Das erneute Einwachsen des unteren Eckzahns in eine Oberkiefertasche mit folgender Ulzeration konnte in der Pathologie bestätigt werden. Solche Zahnprobleme verursachen Schmerzen und Stress, was vielleicht für das Angehen der Infektionskrankheit wichtig war. Die Todesursache lautete: Herz-Kreislauf-Versagen (WEILER 1997b). Zahnerkrankungen bzw. Anomalien dieser Art kommen bei Flußpferden in Menschenhand häufiger vor (EULENBERGER 1995). Über Zahnanomalien bei wild lebenden Flußpferden ist nichts bekannt.

Technopathien

Im Zoologischen Garten Leipzig wurde bei verschiedenen Tierarten die Haltungseinrichtungen geändert, indem an Gehegegrenzen die vertikalen Metallstangen durch horizontal angebrachte, gedrehte Stahlseile ersetzt wurden. Dieses ermöglichte den Besuchern einen freieren Blick auf die Tiere. Sowohl bei Spitzmaulnashörnern (Abb. 262-265) als auch bei Elefanten (Abb. 266/267) hat diese neue Gehegebegrenzung zu Verhaltensänderungen der Tiere geführt:

Das männliche Spitzmaulnashorn (Abb. 262-265) nutzte die horizontalen, gedrehten Stahlseile, um sein vorderes Horn daran zu reiben. Wie besonders in Abbildung 263 deutlich zu sehen ist, entstanden durch das Reiben tiefe Einkerbungen im Horn, die zu einem entzündlichen Prozeß führten. Die Entzündung war entsprechend der weiteren Traumatisierung progressiv. Im März 1999 (Abb. 265) war die gesamte Basis des Horns stark durch Wärmeabstrahlung gekennzeichnet, das Horn aber äußerlich wieder regeneriert. Der Heilungsprozeß schien klinisch abgeschlossen, eine vermehrte Wärmeabgabe über die Hornbasis war aber noch vorhanden. Eine Darstellung des Zustandes nach Abklingen der vermehrten Wärmeproduktion war aus technischen Gründen nicht möglich. Im Juli 1999 stieß das Tier überraschend große Teile seines vorderen Hornes ab, in Folge eines Unfalls bei Attacken gegen ein im Nachbargehege lebendes weibliches Tier. Der Unfall hatte jedoch nichts mehr mit dem Hornabrieb zu tun.

Der Asiatische Elefantenbulle derselben Institution nutzte die horizontalen Stahlseile, um sie mit seinen Stoßzähnen anzuheben und sich dann durch seitliches Schwenken des Kopfes daran zu reiben. Dadurch entstanden tiefe Schleifspuren in den Stoßzähnen, besonders an der Austrittsstelle des linken Zahns aus der Zahntasche. Wie auf den Infrarot-Aufnahmen sichtbar (Abb. 266-267), entstand durch das Reiben eine Zahnfachentzündung. Die Wärmeabstrahlung über die äußere Haut über dem Zahnfach ist entsprechend im Infrarot-Bild (Abb. 267) deutlich erhöht. An der Haut selbst waren äußerlich keine Veränderungen sichtbar. Dieses Verhalten des Bullen konnte erst durch das Anbringen eines elektrischen Weidezaunrates unterbunden werden.

Auch in der Humanmedizin konnte die Thermographie schon erfolgreich in der Beurteilung von Kiefer- und Zahnproblemen eingesetzt werden. Besonders wenn die Zahnprobleme vielschichtig waren und auch die Nasennebenhöhlen mit betroffen waren deckte die Thermographie diese Tatsache sofort auf. Sogar viele chronische Zahnprobleme konnten so gelöst werden (ROST 1980c, SCHWAMM 1980b). Auch in der Augenheilkunde konnte die Thermographie viele chronische Fälle der Sehbeeinträchtigung lösen helfen, da durch den Einsatz einer Infrarot-Kamera die Beteiligung der Kieferhöhlen oder Zähne an dem Geschehen erst erkennbar wurde (SCHMAUSER 1980).

Diese beiden Beispiele von Technopathien belegen, daß die Infrarot-Thermographie ein gutes Mittel ist, Tiere intensiv, auch nach Gehegeveränderungen, zu beobachten, um eine unnötige Beeinträchtigung ihrer Gesundheit zu vermeiden.

Gynäkologie

Eine Asiatische Elefantenkuh des Zoologischen Gartens Leipzig (Abb. 269-270) fiel durch periodisch wiederkehrende Umfangsvermehrung im Bereich der Vagina auf. Die Vagina beim Elefanten verläuft äußerlich tastbar schlauchartig vom After bis unter den Bauch (RÜEDI 1995). Bei zwei thermographischen Untersuchungen im September 1997 und März 1999 konnten vermehrte und ausgedehnte Wärmeabstrahlungen über dem Vaginalschlauch konstatiert werden. Da dieses Phänomen periodisch wiederkehrend auftrat, wird angenommen, daß es auf Grund von hormonellen Veränderungen, besonders von Östrogenen, hervorgerufen wird. Nach RÜEDI (1995) können ein Vaginalödem, Vaginalsekretion, eine Schleimpfropfenbildung sowie eine leichte MilchdrüSENSCHWELLUNG bei Elefanten gelegentlich beobachtet werden, ansonsten ist aber die Brunstbeobachtung äußerst schwierig. Da mittels Thermographie schon Temperaturdifferenzen von 0,1 °C unterscheiden werden können, sollte bei der Lage des Vaginalschlauchs unter der Haut eine Erkennung des Östrus möglich sein. Hierzu wären kontinuierliche Untersuchungen bei vielen Elefanten nötig. Die Temperaturunterschiede bei den auch äußerlich sichtbaren Vaginalödemem der Leipziger Elefantenkuh betrugen 3-4 °C. Selbst wenn stillbrünstige Kühe weniger Wärmeabstrahlung über ihren Vaginalschlauch zeigen, sollte eine östrische Kuh doch von einer nicht-östrischen unterscheidbar sein. Der Östrus dauert bei Elefanten zwischen zwei und fünf Tagen (SCHMIDT 1993). Als Ziel weiterer Forschung könnte die Thermographie dann Blutentnahmen überflüssig machen. Nach Etablierung der Thermographie mittels Infrarot-Kamera könnten auch andere thermographische Methoden wie die Thermometrie mittels Handpyrometer oder die Kontakt-Thermographie mittels temperatur-sensitiver Gele als Methoden ausprobiert werden. Die letzten beiden Verfahren wären viel kostengünstiger als die Blut-, Urin- oder Kotanalyse oder die Arbeit mit der Infrarot-Kamera. Wie schon ausführlich besprochen, ist der Einsatz der Infrarot-Kamera aber zunächst für die Übersicht über den Tierkörper erforderlich, anderenfalls könnten wichtige Änderungen im Wärmeprofil eines Tieres übersehen werden. Eine Blutentnahme ist immer invasiv und bei vielen Elefanten nicht durchführbar wegen der Gefahr für Tierarzt und Tierpfleger. Die Blut-Progesteron und -17β -Östradiol Bestimmung sind gesicherte Methoden der Zyklusbestimmung bei Elefanten, jedoch mit mindestens wöchentlicher Blutentnahme verbunden (HERZOG 1989). Die in HERZOG's Arbeit durchgeführte Vaginalzytologie und die Bestimmung der Harn-Östradiolwerte ließen keine genaue Zyklusbestimmung bei Elefanten zu. Anders bei den Untersuchungen von DIAZ-SAMAYOA DE AGUIRRE (1990). Diese Autorin stellte fest, daß sowohl 20-Hydroxyprogesteron aus dem Kot als auch Gesamtöstrogen aus dem Harn zur Zyklusbestimmung geeignet waren. Untersuchungen mit neuen Antikörpern gegen Progesteron oder Östradiol aus dem Kot oder dem Urin werden z.Z. an diversen privaten oder öffentlichen Instituten durchgeführt. Diese Untersuchungsmethoden verursachen aber durchgehend hohe Kosten, da sie langwierig sind, viele Probenentnahmen verlangen, die mit Lagerungs-, Porto und Bearbeitungskosten im Labor verbunden sind, sowie durch den z.T. radioaktiven Abfall die Umwelt belasten. Bei der Thermographie mittels Infrarot-Kamera entstehen keine Abfallprodukte, und die Diagnose könnte nach Etablierung der Methode sofort gestellt werden. Hierfür wären allerdings dringend Reihenuntersuchungen nötig.

8.0 Infrarot-Thermographie in der Wildtierforschung und Wildtiermedizin: Erste Erfahrungen

In der Wildtiermedizin wurde die Infrarot-Thermographie bisher noch nie eingesetzt. In der Wildtierforschung hingegen wird sie seit Jahrzehnten zur Ortung von Tieren genutzt, wie eingangs erörtert. Der Einsatz dieser inzwischen hochentwickelten Technik zur Erforschung von tierischem Verhalten und zur veterinärmedizinischen Diagnostik stellt den Untersucher vor ganz neue Aspekte. Wie z.B. wirkt sich das afrikanische Klima auf Untersuchungsgänge aus? Können Untersuchungen überhaupt vorgenommen werden? Wie verhalten sich die Tiere? Kommt man mit der Infrarot-Kamera dicht genug an die Tiere heran, um Befunde erheben zu können? Welche Teleobjektive sind dafür notwendig? Stehen die Tiere frei genug vor der Vegetation, damit diese als Störfaktor eine Untersuchung nicht zu stark beeinträchtigt oder gar unmöglich macht? Diese und viele andere Fragen wurden aufgeworfen.

Um die Möglichkeit der Anwendung dieser Methode prinzipiell zu klären, wurde für Februar 2000 ein kurzer Forschungsaufenthalt in Südafrika und Tansania organisiert. Auf Einladung des National Zoological Garden Pretoria, Südafrika, konnten Untersuchungen zur Trächtigkeitsdiagnose bei freilebenden Breitmaulnashörnern auf der Game Ranch Lichtenburg, Südafrika, durchgeführt werden. Auf Einladung der Frankfurter Zoologischen Gesellschaft von 1858 e.V. und der University of Minnesota, Minneapolis, USA, konnten zusammen mit Frau Peyton West im Rahmen ihrer biologischen Dissertation an der University of Minnesota erste Erhebungen zur Thermoregulation bei männlichen Löwen der Serengeti und darüber hinaus Untersuchungen zur Diagnostik von Entzündungen bei Wildtieren im Ngorongoro Krater durchgeführt werden.

8.1 Thermoregulation: Forschung an Löwen der Serengeti

Einleitung

Frau Peyton West untersucht seit 1997 in der Serengeti den Einfluß der Mähne männlicher Löwen bei der Partnerwahl seitens der Löwinnen. Die Grundfrage ihrer Arbeit lautet: Wonach wählen Löwinnen ihre Sexualpartner als Väter ihres Nachwuchses aus? Die Antwort auf diese Frage aus den Attrappen-Versuchen lautet: Nach der Größe der Mähne: Je ausgeprägter die Mähne, desto häufiger wurde die entsprechende Attrappe ausgesucht, wobei dunkle Mähnen gegenüber hellen bevorzugt wurden. Weitere Fragen in der Dissertation sind: Welche Funktion hat die Mähne und welche Kosten verursacht sie? Ein Löwe mit ausgeprägter Mähne muß physisch sehr fit sein, um sie sich leisten zu können, da er z.B. genügend Nahrung finden muß, um die Haare produzieren zu können. Die Mähne schützt ihn dann bei Rivalenkämpfen, so daß seine Überlebens- und Fortpflanzungschancen steigen. Zusammengefaßt heißt das: Weibchen wählen denjenigen Löwen als Vater ihres Nachwuchses, der die ausgeprägteste Mähne besitzt, da er die besten Eigenschaften vererbt, die für das Überleben wichtig sind. Solche Hypothesen werden in der Ökoethologie seit vielen Jahren bearbeitet (RYAN 1997). Die Frage nach den Kosten der Mähne wurden bisher nur über die Energiekosten für die Produktion der Haare gestellt.

Die Idee für die Erweiterung des Themas der Dissertation von Frau West in Richtung Thermoregulation hatte sich auf Grund der Ergebnisse der Infrarot-Aufnahmen von Löwen des Zoologischen Gartens Berlin ergeben. Wie bereits erläutert, zeigen diese Aufnahmen (Abb. 84-85) einen deutlichen Unterschied in der Wärmeabgabe zwischen den Geschlechtern. Löwen haben ein geteiltes Wärmeprofil mit einer stark isolierenden Mähne an Kopf und Hals bei einem weniger isolierten restlichen Körper. Löwinnen hingegen lassen eine im Vergleich hierzu mittlere Wärmestrahlung mehr oder weniger einheitlich über den gesamten Körper erkennen. Die Bilder des Löwen deuten darauf hin, daß nur ein Teil des Körpers für aktive Thermoregulation zur Verfügung steht. Unter den tropischen Bedingungen in Afrika könnte die Reduzierung des zur aktiven Thermoregulation zur Verfügung stehenden Körperareals zu Problemen wie der Gefahr eines Hitzestaus führen. Vielleicht liegt hier der Grund dafür, daß Löwen nicht oder selten auf die Jagd gehen und diese Aktivität den Löwinnen überlassen? Vielleicht würden Löwen an Überhitzung sterben? Subadulte Löwen gehen noch selbst auf die Jagd. Bei ihnen ist die Mähne auch noch nicht voll ausgeprägt.

Aus diesen Erkenntnissen der Zootier-Physiologie kann gefolgert werden, daß die Mähne des Löwen unter tropischen Bedingungen hohe Kosten in der Thermoregulation verursacht. Die neuen Hypothesen lauten:

- Je ausgeprägter die Mähne des Löwen, desto höher sind die täglichen Kosten für die Thermoregulation, da bei stärker ausgeprägter Mähne weniger Körperoberfläche für die Wärmeabgabe zur Verfügung steht, die physiologische Belastung also entsprechend höher ist.
- Je ausgeprägter die Mähne, desto größer ist die Differenz der Oberflächentemperatur zwischen Mähne und Hinterkörper.
- Eine Mähne erreicht dann ihre maximal tragbare Länge, wenn die Balance zwischen der Gefahr des Hitzestaus und dem Vorteil ihres Schutzes gegen Rivalen erreicht ist. Durch die Schutzfunktion der Mähne bei Kämpfen wird eine längere Mähne positiv selektiert.

Für die Voruntersuchungen zu diesen Hypothesen und der Frage, ob die Thermographie unter ostafrikanischen Bedingungen überhaupt einsetzbar ist, führte die Expedition in die Serengeti nach Tansania, Ostafrika.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurde die Kamera mit der neuesten technischen Entwicklung, Thermovision® 570, ungekühlt, mit dem Normalobjektiv von 24 Grad eingesetzt. Von den Umweltbedingungen wurden Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit erfaßt. Es wurde versucht, direkte Sonneneinwirkung zu vermeiden, wobei Messungen an Tieren möglichst im Schatten oder bei Bewölkung durchgeführt wurden. Ließ sich Sonneneinstrahlung nicht ganz vermeiden, wurde eine entsprechende Notiz aufgezeichnet. Alle Löwenaufnahmen entstanden aus einer Entfernung von 1-10 m von einem Geländefahrzeug aus. Die Position der Löwen wurde mit einem „Global-Positioning-System“ (GPS) erfaßt und die Identität der Tiere über die seit Jahrzehnten geführte Tierkartei bestimmt. Die Auswertung der Bilder erfolgte nach der Standard-Methode (siehe Kapitel 4).

Ergebnisse

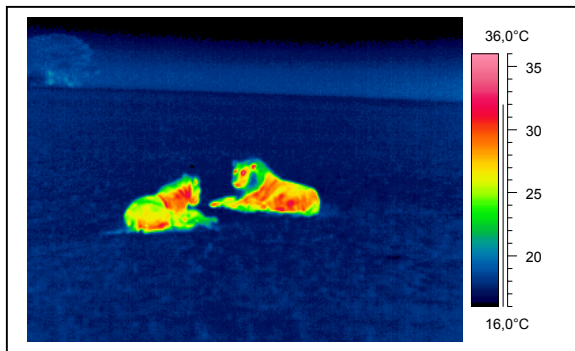


Abb. 271: Löwenpaar (Partiell mit Sonnenschein)
(Alle folgenden Bilder ohne Sonnenschein)

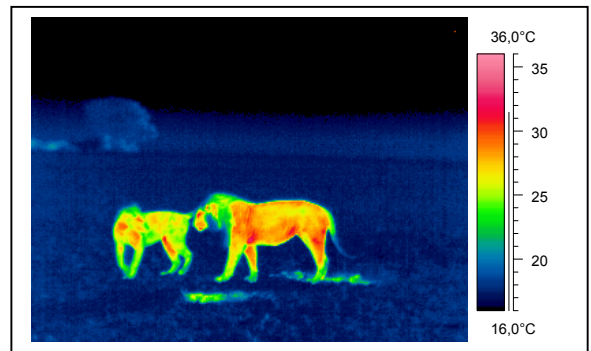


Abb. 272: Löwe beriecht Genital von Löwin

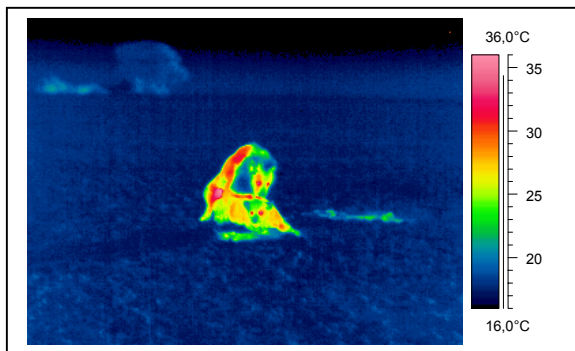


Abb. 273: Löwen bei der Paarung

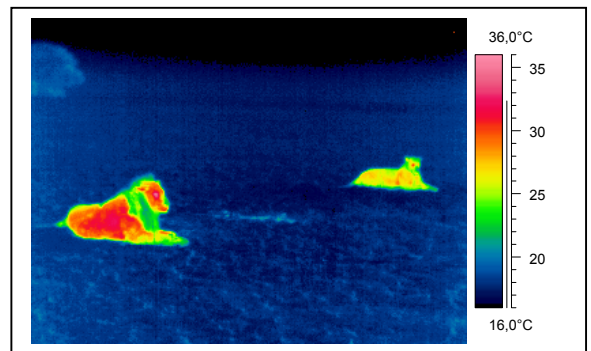


Abb. 274: Löwenpaar gleich nach Paarung

Infrarot-Befunde:

	Löwe		Löwin
Bild	Körper	Mähne	Körper
1	28,5 °C	21,4 °C	25,5 °C
2	27,8 °C	22,7 °C	26,1 °C
3	29,5 °C	21,4 °C	25,9 °C
4	30,7 °C	23,1 °C	26,3 °C
Max. Diff.	2,9 °C	1,7 °C	0,8 °C

Klima:

Umgebungstemperatur: 20,0 °C
Relative Luftfeuchtigkeit: 40 %
Bewölkungsgrad: 80 %

Wie zu erwarten, war während der gesamten Untersuchung eine Zerteilung der Körperoberfläche bei dem Löwen erkennbar, wobei die Mähne eine niedrigere Temperatur hatte als der Hinterkörper. Die Löwin zeigte im gleichen Zeitraum eine mehr oder weniger einheitliche Oberflächentemperatur, wobei ihre Abstrahlungswerte zwischen der der Mähne und der des Hinterkörpers des Löwen lag. Bei diesem Löwenpärchen wurde eine Paarung verfolgt (Abb. 271-274). Die Wärmeabstrahlung veränderte sich beim Löwen während der Paarung und erreichte ihr Maximum direkt in ihrem Anschluß. Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei anderen Löwenpaaren der Serengeti gemacht. Bei dieser und anderen Löwinen änderte sich die Wärmeabstrahlung kaum.

Diskussion

Diese Vorversuche bestätigten die Ergebnisse bei Löwen aus den Zoologischen Gärten Berlin und Leipzig. Die Zweiteilung im Wärmeprofil des Löwen und ein einheitliches bei Löwinnen galt für alle untersuchten Tiere. Die Temperaturen der Mähne der Löwen waren weniger stabil als erwartet, wahrscheinlich, weil viele Tiere noch jung und ihre Mähnen demnach noch nicht so ausgeprägt waren. Die Erhöhung der Abstrahlung männlicher Tiere während der Paarung geht konform mit den Ergebnissen bei Spitz- und Breitmaulnashörnern (Abb. 51-53) sowie Mantelpavianen (Abb. 89-90) aus der Zootierhaltung. Wenn Untersuchungen während intensiven Sonnenscheins vermieden werden können, ist die Infrarot-Thermographie nach dieser ersten Einschätzung auch unter Feldbedingungen in Ost-Afrika als Methode durchaus geeignet. Experimente mit physiologischen und verhaltensbiologischen Fragestellungen können gezielt geplant werden; ihre Auswertung verspricht erfolgreich zu werden. Die Vermeidung der Störung durch direkte Sonneneinwirkung sollte möglich sein, da sich z.B. Löwenpaare über drei Tage lang ca. alle 20 Minuten paaren und demnach genügend Zeit besteht, auf günstige Wetterbedingungen zu warten bzw. die Aufnahmen in die Zeit der Abend- oder Morgendämmerung oder gar auf die Nachtstunden zu verlegen.

8.2 Trächtigkeitsuntersuchungen bei „wilden“ Nashörnern

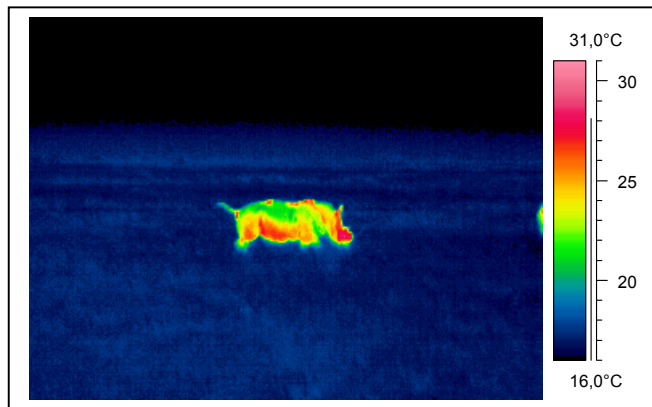
Einleitung

Der Einsatz der Infrarot-Kamera zur Diagnostik von Trächtigkeiten bei Nashörnern in freier Wildbahn wurde auf der Nashorn Zuchtstation Lichtenburg Game Ranch, einer Außenstation des National Zoological Garden Pretoria in Südafrika, an Breitmaulnashörnern durchgeführt. Festzustellen galt folgendes: Inwieweit sind Unterschiede zwischen adulten trächtigen und nichtträchtigen Tieren im Thermoprofil ihres Bauches, ähnlich den Beobachtungen an Tieren in Zootierhaltung, erkennbar? Wenn ja, sind diese Unterschiede immer vorhanden, oder gibt es Tageszeiten oder Situationen, die eine Diagnose schwierig bzw. unmöglich machen, da zu viele Störfaktoren die Beurteilung des Trächtigkeitsfeldes beeinträchtigen und entsprechend zu Fehldiagnosen führen? Lassen die Tiere einen Untersucher für gesicherte thermographische Untersuchungen, in diesem Fall für die Beurteilung der Trächtigkeitsfelder, nahe genug herankommen? Welche Teleobjektive sollten künftig zum Einsatz kommen?

Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurde wiederum die Kamera Thermovision® 570, mit dem Normalobjektiv von 24 Grad eingesetzt. Von den Umweltbedingungen wurden Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit erfaßt. Direkte Sonneneinstrahlung galt es zu vermeiden, was bei dem herrschenden Klima in Südafrika fast unmöglich war. Es wurde darum versucht, die Untersuchungen während der Dämmerung oder nachts durchzuführen. Alle Nashornaufnahmen entstanden aus einer Entfernung von 15 bis 30 m aus einem stehenden oder fahrenden Geländefahrzeug heraus. Die Identifizierung der Nashörner wurde mit Hilfe des Verwalters der Lichtenburg Ranch anhand von Hornform und -länge der Tiere vorgenommen. Ansonsten verliefen die Untersuchungen wie im Kapitel 4 beschrieben. Die Verifizierung der Ergebnisse konnte nur über die Geburt der Kälber nach Ablauf der Tragzeit erfolgen.

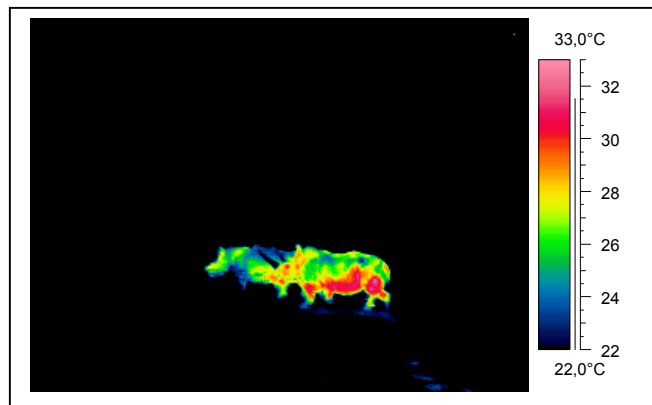
Ergebnisse



Infrarot-Befund:

Körper: 21,3 °C
Trächtigkeitsfeld: 26,3 °C
Differenz: 5,0 °C

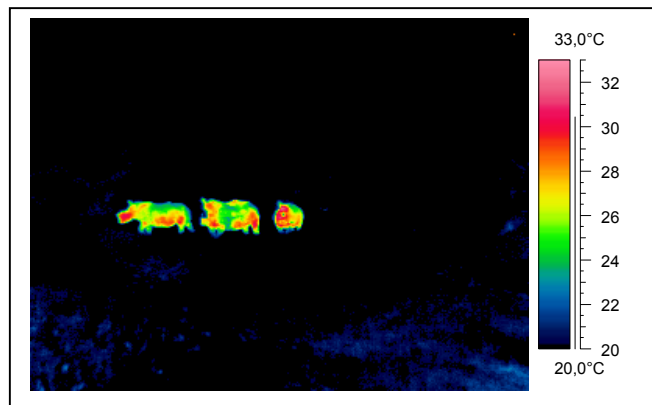
Abb. 275:
Breitmaulnashorn ca. im
12. Monat trächtig
(Aufnahme in Morgen-
dämmerung bei 20 °C)



Infrarot-Befund:

Körper: 26,2 °C
Trächtigkeitsfeld: 30,4 °C
Differenz: 4,2 °C

Abb. 276:
Breitmaulnashorn ca. im
17. Monat trächtig
(Aufnahme in Morgen-
dämmerung bei 20 °C)



Infrarot-Befund:

Tier:	links	Mitte
Körper:	24,9 °C	24,8 °C
Trächtigkeitsfeld:	28,2 °C	28,6 °C
Differenz:	3,3 °C	3,8 °C

Abb. 277:
Breitmaulnashörner in der
Morgendämmerung bei ca.
20 °C: Beide vorderen Tiere
trächtig, hinteres juvenil

Diskussion

Zunächst einige Bemerkungen zu den klimabedingten Untersuchungsschwierigkeiten: Trächtigkeitsuntersuchungen waren im Laufe des Tages selten durchführbar, da die Sonne sehr intensiv schien, die Umgebungstemperatur 30 °C frühzeitig und bei weitem überschritt, die Tiere durch die Annäherung des Wagens schnell ins Laufen kamen und dadurch eine Gefährdung ihrer Gesundheit durch Hitzestau befürchtet werden mußte. Ab spätestens zehn Uhr morgens wurden die Tiere meist im Schatten oder in der Sonne liegend angetroffen. Standen sie bei Annäherung des Autos auf oder waren sie vorher nicht im Schatten, sondern im intensiven Sonnenschein, zeigten sie abnorme Wärme-profile, aus denen keine Befunde erhoben und entsprechend keine Diagnosen gestellt werden konnten. Überdies war auf Grund der hohen Umgebungstemperatur eine Mes-

sung erschwert. Nach TURNER (1991) sollte keine Messung oberhalb einer Schattentemperatur von 30 °C vorgenommen werden. Die eigene Erfahrung zeigt, daß schon Temperaturen über 22 °C im Schatten unklarere Ergebnisse liefern können.

Insofern waren für diese Untersuchungen die jahreszeitlichen Bedingungen, die in Zukunft unbedingt berücksichtigt werden sollten, ungünstig. Im vorliegenden Fall waren nicht nur die Umgebungstemperaturen für die Jahreszeit ungewöhnlich hoch, sondern es gab obendrein keinerlei Niederschlag zur Abkühlung der Tiere und der Vegetation. Weiterführende Untersuchungen sollten in Zukunft in der kalten Jahreszeit durchgeführt werden, in Südafrika also zwischen Ende April und Anfang Oktober.

Als einziger sinnvoller Untersuchungszeitraum für Trächtigkeitsuntersuchungen stellte sich die Zeit der Morgendämmerung heraus, da die Tiere von der Nacht her abgekühlt waren, die Umgebungstemperatur bei 20 °C lag und noch keine oder nur schwache Sonneneinwirkung zu verzeichnen war. Während der Abenddämmerung waren die Luft noch zu warm und die Tiere noch zu sehr aufgeheizt. Durch die Verfolgung mit dem Geländewagen erwärmten sich die Muskeln der Beine und die Köpfe der Tiere auch schon bei den Untersuchungen in der Morgendämmerung stark.

Die unter diesen Bedingungen gestellte Diagnose: „Trächtigkeit des Tieres im ca. 17. Monat“ (Abb. 276) erwies sich inzwischen als korrekt. Das Kalb wurde Anfang Mai geboren, starb aber innerhalb weniger Tage. Zum Zeitpunkt des Todes herrschte sehr kaltes Wetter, so daß hierin die Todesursache zu vermuten ist (ESPIE 2000). Nach den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit ist eine Unterkühlung bei naß-kaltem Wetter durchaus als Todesursache anzunehmen, da neugeborene Nashörner erst im Alter von vier Wochen anfangen, eine bessere Isolationsschicht in ihrer Haut auszubilden. (Siehe hierzu Kapitel 5.1, Abb. 47 bis 50, Seite 40).

Die für diese Freilanduntersuchungen eingesetzte Infrarot-Kamera war in einigen Situationen zu langsam beim Anhalten der Bilder („Einfrieren“) aus dem Echt-Zeit-Modus, so daß einige gute Motive für die Diagnostik verloren gingen. Dieses Problem muß von Seiten des Kameraherstellers AGEMA/FLIR behoben werden, damit auch bei fahrendem Geländewagen über holprige Strecken schneller auswertbares Material gewonnen werden kann. Des weiteren sollten für Trächtigkeits-Untersuchungen in Zukunft stärkere Infrarot-Teleobjektive eingesetzt werden, mindestens eine 12 Grad Linse, besser noch eine 7 Grad Linse oder gar noch darunter. In freier Wildbahn sind Nashörner viel scheuer als z.B. die Löwen in der Serengeti, die Abstände zur Kamera also größer. Je bildfüllender ein Meßobjekt ist, desto genauer sind die Meßergebnisse (BREUCKMANN 1993).

8.3 Entzündungsdiagnostik bei Wildtieren

Einleitung

Die Tiere des Ngorongoro Kraters zeichnen sich dadurch aus, daß sie vor Geländewagen keine Scheu haben. Unter solchen Bedingungen können neue Techniken der Wildtiermedizin wie die Infrarot-Thermographie gut getestet werden, besonders, wenn, wie hier, keine ausreichenden Infrarot-Teleobjektive zur Verfügung stehen. Die Tiere lassen einen Wagen oft bis auf 1-2 m heran. Löwen legen sich gelegentlich sogar unter ein

parkendes Fahrzeug. Wie im Kapitel „Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie“ war die Fragestellung dieser Untersuchungen, ob die Infrarot-Thermographie entzündliche Veränderungen bei Wildtieren bei den vorherrschenden Umweltbedingungen aufspüren kann.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurde die Kamera Thermovision® 570, mit dem Normalobjektiv von 24 Grad eingesetzt. Von den Umweltbedingungen wurden Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit erfasst. Es wurde versucht, direkten Sonnenschein zu vermeiden, was bei dem herrschenden Klima, außer in den frühen Morgenstunden, in denen die Sonne noch unter dem Kraterrand stand, meist schwierig war. Untersuchungen während der Dämmerung oder nachts waren im Krater nicht erlaubt und somit keine Option. Alle Aufnahmen entstanden aus einer Entfernung von 1-20 m aus einem stehenden oder fahrenden Geländefahrzeug. Eine Identifizierung von individuellen Tieren konnte nicht erfolgen, da nur mit Tierarten wie Zebras, Gnus und ähnlichem gearbeitet wurde. Eine Identifizierung von Zebras ist zwar auf Grund ihrer Streifung prinzipiell möglich (ESTES 1991), war jedoch bei dieser Voruntersuchung nicht praktikabel.

Ergebnisse

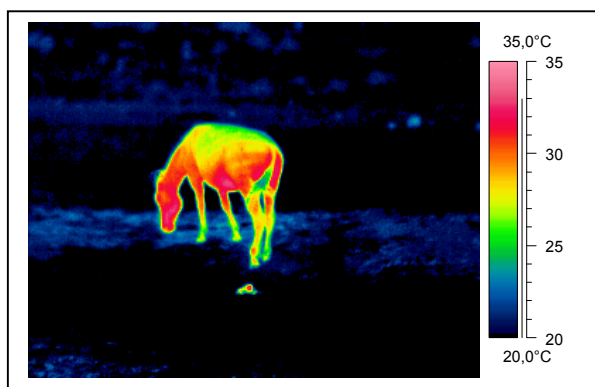


Abb. 278: Steppenzebra im Ngorongoro Krater
Tier lahmt hinten links

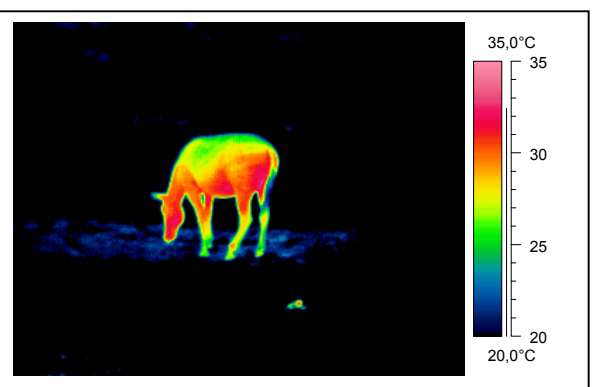


Abb. 279: Gleiches Zebra wie in Abb. 278
mit anderer Beinstellung

Umgebungstemperatur: 30,0 °C
Kamera-Tier-Abstand: 8,0 m

Infrarot-Befund:

Körper dorsal: 27,4 °C
Körper ventral: 29,5 °C
Gesunde Fesselgelenke: 25,5 °C
Verändertes Fesselgelenk: 28,6 °C



Abb. 280: Gleiches Zebra wie auf den
Infrarot-Bildern: Schwellung des Fes-
selgelenks der linken Hinterextremität

Das Fesselgelenk und zum geringeren Teil das gesamte Hinterbein sind durch eine vermehrte Wärmeabstrahlung gekennzeichnet. Mit Hilfe des Digitalzoom können die Wunde und die Schwellung des Fesselgelenkes des Zebras deutlich im Realbild festgehalten werden.

Verdachtsdiagnose: Arthritis traumatica septica und Tendovaginitis.

Diskussion

Die Infrarot-Thermographie kann auch in der Entzündungsdiagnostik bei Wildtieren erfolgreich eingesetzt werden. Aber auch in dieser Situation wären Infrarot-Teleobjektive der Stärke 12 Grad oder darunter vorteilhaft gewesen. Die das Bein des Zebras hochziehende Entzündung hätte sich so besser darstellen lassen. Auf Grund dieser technischen Limitierung konnten nur wenige Tiere dicht genug mit dem Geländewagen angesteuert werden. Nur Tiere, die aus einiger Distanz entweder durch Lahmheit visuell auffielen oder im Sucher der Infrarot-Kamera durch ihr ungewöhnliches Wärmeprofil die Aufmerksamkeit auf sich lenkten, wurden so erfaßt. Verletzte und kranke Tiere sind meist scheuer als gesunde, ihre Fluchtdistanz ist daher größer. Störend in den vorgestellten Infrarot-Aufnahmen wirken die horizontal einfallenden Strahlen der Abendsonne und die starke Reflexion der Infrarot-Strahlen aus der Umgebung, besonders vom Boden. Beide zusammen treffen teilweise das Zebra, wie an dem breiten horizontalen roten Streifen zu erkennen ist. Die distalen Beinabschnitte des Zebras sind ab den Karpal- und Tarsalgelenken im Schatten. Wegen der Parkregeln konnte leider nicht bis nach Sonnenuntergang gewartet werden. Das vorliegende Beispiel einer Verletzung bei einem Zebra zeigt jedoch, daß die Infrarot-Thermographie auch in der wildtiermedizinischen Diagnostik einsetzbar ist. Mit stärkeren Teleobjektive und unter günstigeren Umweltbedingungen könnten die Untersuchungsergebnisse noch verbessert werden. Die Umweltbedingungen ließen sich leicht verbessern, indem die Tiere möglichst in der Morgendämmerung, im Schatten oder von der sonnenabgelegenen Seite untersucht werden. Durch die Parkregel gebunden, lag für das „Off-Road-Driving“ bei diesen Vorversuchen keine Genehmigung vor. Diese kann aber für die Zukunft eingeholt werden.

Für alle drei hier vorgestellten Gebiete: Physiologie/Ökoethologie, Trächtigkeitsuntersuchung und Entzündungsdiagnostik kann gesagt werden, daß die Infrarot-Thermographie unter Einhaltung bestimmter Regeln für die Wildtiermedizin und -biologie geeignet ist. Mittels umfangreicher Untersuchungen und Versuche könnte die Methode in Zukunft eine große Bedeutung bei der Überwachung von Tierbeständen in Nationalparks und auf privaten Game Ranches erlangen sowie auch eine neue Methode für die Ökoethologie darstellen. Mit Hilfe der modernen Infrarot-Kamera, die hier zum Einsatz kommen konnte, war es sogar möglich, Tierarten ähnlicher Größe im Thermogramm voneinander zu unterscheiden. Dies war mit Vorgängermodellen schwieriger. Die Hoffnung besteht nun, daß auch Tierzählungen in Afrika wieder verstärkt mit der Thermographie durchgeführt werden könnten, da die Technik eine weitere Limitierung überwunden hat. Wie in der Einführung erwähnt, konnten bis vor kurzem verschiedene Tierarten nur mit Hilfe spezieller 3-5 µm Detektoren unterschieden werden (HAVENS & SHARP 1998). Ob mit der neuen Kamera Tierarten auch bei Zählungen aus der Luft vom Helikopter oder Kleinflugzeug aus unterschieden werden können, bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten.

9.0 Abschlußdiskussion und Ausblick

Die in den letzten Jahren rasch voranschreitende technische Entwicklung der Infrarot-Kameras eröffnet immer neue Aspekte für ihren Einsatz nicht nur in der Zootiermedizin, sondern auch bei Wildtieren. Wie diese Arbeit zeigt, könnte diese Methode nicht nur für weitere grundlegende Erkenntnisse der Thermoregulation verschiedener Wildtierarten und somit für die Tierhaltung, sondern besonders auch für die Reproduktionsmedizin und –forschung und somit für die Aufgabe der Arterhaltung in zunehmendem Maß ein wichtiges Hilfsmittel werden. Ihr umfassender Einsatz in der Zoo- und Wildtiermedizin bei allen Prozessen, die mit einer lokalen Temperaturveränderung einhergehen, setzt die umfangreiche Erstellung von „Normalwerten“ bzw. entsprechenden Eichkurven für die jeweilige Tierart unter unterschiedlichsten standardisierten Umweltbedingungen voraus (s.u.). Nach Schaffung dieser Voraussetzungen erscheint die Methode aber sehr verheißungsvoll, zumal dann auch bei Routineüberwachungen des Tierbestandes eines Zoos die Früherkennung von Krankheitszuständen bzw. pathologischer Thermoregulation ermöglicht würde.

ROST (1980b) mahnt aber zu Recht: *„Die Methode liefert keine fertige Diagnose. ... Voraussetzung für die Beurteilung des Thermogramms ist eine Ausbildung als Arzt (Tierarzt) und eine ausreichende praktische Erfahrung und Einarbeitung. ... Die thermischen Meßverfahren sind an sich sehr einfach, und doch bergen sie für den weniger Erfahrenen und damit weniger Vertrauten sehr viele störende und nicht so leicht durchschaubare Faktoren in sich. Aus diesem Grunde ist zu fordern, daß Messungen nur vom Arzt (Tierarzt) oder einer sehr gut ausgebildeten und eingearbeiteten Hilfsperson vorgenommen werden, daß die Auswertung des Thermogramms aber grundsätzlich und ausschließlich durch den (erfahrenen) Arzt (Tierarzt) vorzunehmen ist.“*

Allgemeines

Ähnlich wie bei der Ultraschalldiagnostik ist bei der Infrarot-Thermographie neben einer guten Ausrüstung und einer intensiven Einarbeitung in die Methode ein profundes Wissen über die zu untersuchenden Tierarten erforderlich, um Fehldiagnosen zu vermeiden. Bei der Sonographie wurde das lange nicht beachtet. Gleiches droht auch weiterhin der Infrarot-Thermographie, wodurch eine schnelle Überführung in die Routine behindert werden würde. Schon während ihrer Entwicklung kamen beide Methoden in den Verruf, ungenau zu sein. Ursache waren jedoch mangelhafte Kenntnis und Erfahrung der Untersucher, was auch DANZ (1981) beklagte. Die Sonographie basiert bis heute nur auf wenigen qualitativen Daten. Für einige Zootierarten soll sich das jetzt ändern und ein computergestütztes Interpretationsprogramm entwickelt werden (EULENBERGER 1999). In der Thermographie wird deshalb von Anfang an versucht, neben qualitativen auch quantitative Daten zu erheben, um möglichst „Normalwerte“ in Abhängigkeit von bestimmten Umweltbedingungen und Aktivitäten der zu untersuchenden Tiere zu erhalten. Hierfür sind zunächst umfangreiche Datenerhebungen erforderlich, wozu der dauerhafte Zugriff auf eine hochqualifizierte Ausrüstung Voraussetzung ist. Erarbeitete Eichkurven und ein Vergleich mit Bildern aus einer Datenbank könnten dann anderen Untersuchern die Interpretation der Befunde und die Diagnostik erleichtern. Teilbereiche solcher Eichkurven wurden in dieser Arbeit vorgestellt, so daß unter ähnlichen Umweltbedingungen andere Untersucher auch heute schon ähnliche Ergebnisse erhalten sollten.

Seit 1998 konnten Tierärzte in einigen Zoologischen Gärten in den USA und in Neuseeland für erste Anwendungen der Methode gewonnen werden. Einen kurzen Abriss zu ihren Untersuchungen geben CLIPPINGER & COOK (1999). Leider setzen sie aus finanziellen Gründen ein billiges, zweitklassiges Infrarot-Meßsystem ein, das bei weitem nicht so leistungsfähig ist wie viele andere auf dem Markt erhältliche Geräte. In der Zoo- und Wildtiermedizin sollten grundsätzlich nur die leistungsfähigsten Systeme zum Einsatz kommen. Nur sie liefern Infrarot-Bilder mit qualitativ auswertbaren Daten in Form von konkreten Temperaturwerten. Diese ermöglichen eine verlässliche Sofortdiagnose. Billige Systeme geben zu den Bildern keine kodierte Farbskala als Referenz an. Für eine zuverlässige Diagnostik unter wechselnden Umweltbedingungen ist dies aber eine conditio sine qua non. Hierfür sind Eichkurven sinnvoll bzw. notwendig.

Ein Beispiel soll die Wichtigkeit der Erarbeitung von Eichkurven verdeutlichen: Nach derzeitigem Stand der Erkenntnis sollte für die Trächtigkeitsuntersuchung bei Umgebungstemperaturen von ca. 18 °C die Kamera auf eine Temperaturspannweite von ca. 10-15 °C bei Nashörnern, 10 °C bei Elefanten und 20 °C bei Giraffen eingestellt werden. Dann ergeben sich z.B. bei Nashörnern zwischen dem Körper und dem deutlich sichtbaren Trächtigkeitsfeld Temperaturdifferenzen von 2-3 °C. Bei einer Umgebungstemperatur von 12 °C steigt die Temperaturdifferenz bis auf 5 °C, bei 24 °C fällt sie jedoch auf ca. 1,5 °C ab. Die Spannweite des Meßbereiches muß also für eine Sofortdiagnose gleich in der Kamera eingestellt werden können. Lage und Ausdehnung eines Wärmefeldes und die Temperaturdifferenz zwischen ihm und dem restlichen Körper sind bei gegebener Umgebungstemperatur dann die Kriterien für eine Verdachtsdiagnose „trächtig“ oder „nichtträchtig“. Hier sollten umfangreiche Untersuchungen durchgeführt werden, um die Variabilität der Lage und Ausdehnung der Trächtigkeitsfelder einer Tierart und die dazugehörigen Temperaturdifferenzen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur zu ermitteln. Bei gleichbleibenden Umweltbedingungen wird die Temperaturdifferenz im Verlauf der Trächtigkeit zum Ende hin größer, könnte also vielleicht sogar zusammen mit der Lage und Ausdehnung des Wärmefeldes zu präzisen Aussagen über das Trächtigkeitsstadium führen. Die Spannweitereinstellung der Kamera oder spätestens der Bilder selbst im Analyseprogramm am Computer ist also essentiell, bei billigen Systemen aber sehr arbeitsintensiv oder gar unmöglich. Dieses ist dem schnellen Einsatz dieser Technik abträglich. Auf Grund dieser Tatsachen hat eine der amerikanischen Forschungsgruppen die Thermographie bereits wieder aufgegeben. Und dies zu Recht, da die Ergebnisse kaum aussagekräftig waren und nicht für Vergleichsuntersuchungen herangezogen werden konnten (HILSBERG pers. Beobachtung).

Nach Erstellung entsprechender Eichkurven könnte ein Untersucher im Feld dann für die jeweiligen Umweltbedingungen die Normwert-Kurve am Computer aufrufen und anhand dieser die Interpretation der Infrarot-Befunde vornehmen und seine Verdachtsdiagnose stellen.

In der Literatur sind diverse Umweltfaktoren mit ihren Einflüssen auf die Thermographie oder die Thermoregulation der Tiere erwähnt (z.B. ROHICKI *et al.* 1973, BERGSMANN 1980a) (siehe auch Kapitel 2 und Diskussionen zu Kapitel 5 bis 8). Wenige dieser Arbeiten setzten aber gezielte Experimente zur Ermittlung des Einflusses über große Spannweiten eines Faktors ein. Hier besteht dringender Handlungsbedarf.

Thermographie in der Thermoregulationsforschung

Der Einsatz der Infrarot-Thermographie könnte auf allen vorgestellten Gebieten weiter ausgebaut und auch zur Screening-Routineüberwachung von Zootieren genutzt werden. So könnten auch verdeckte Erkrankungen erkannt werden, wie die Beispiele von „Zufallsbefunden“ bei einer Südafrikanischen Oryxantilope, bei einem Pudu und bei einigen Pinguinen während der Untersuchungen zur Thermoregulation in dieser Arbeit zeigten. Wie eingangs ausgeführt, sind dafür aber physiologische Vergleichsthermogramme der untersuchten Tierarten notwendig, um jeweilige tierartliche Besonderheiten vorab zu ermitteln.

Die Problematik der Hyperthermie beim Einsatz bestimmter Narkosemittel allgemein (SESSLER 1994) und bei Schweinen (KUNTZE 1995), Einhufern (STRAUSS 1995) und anderen Problem-Tierarten speziell könnten mittels Thermographie untersucht werden. Bei Robben z.B. ist die Narkose bis heute aufgrund von Apnoe und Hyperthermie gefährlich (NEUROHR 1995). Bei Immobilisation freilebender Hundsrobben in der Antarktis trat immer wieder das Problem plötzlich einsetzender Hyperthermie auf, die auch mit einem Rektalthermometer nicht rechtzeitig erkannt werden konnte, um ihr entgegen zu wirken. Die Untersucher hatten den Eindruck, daß die periphere Thermoregulation plötzlich zusammenbrach (RAMDOHR 1997). Bisher ist eine große Anzahl Robben unter der Narkose verstorben. Zur Lösung dieses Problems könnte die Infrarot-Thermographie sicher einen wesentlichen Beitrag leisten.

Die Thermoregulationsprüfung unter Belastung wurde in der Humanmedizin für die Erkennung von lokalen Temperaturveränderungen bei Krankheiten wie z.B. Durchblutungsstörungen und Nervenläsionen entwickelt (HEIM 1980). Bei Zoo-Einhufern könnte diese Methode die Erkennung von Gelenkerkrankungen und Lumbago deutlich verbessern. Ihre Erkennung stellt in der Zootiermedizin bislang ein Problem dar (STRAUSS 1995).

Die Infrarot-Thermographie ist in der Humanmedizin heute schon in der Lage, organspezifische dreidimensionale Thermogramme zu erstellen. Mit ihrer Hilfe konnten besonders in der Schmerzforschung neue Erkenntnisse gewonnen werden, da die Technik feinste Unterschiede in der Wärmeabstrahlung verdeutlichen kann. Die Lokalisierbarkeit eines entzündlichen Prozesses und die Erkennung der strukturellen Abnormalität eines Organs oder einer Nervenfehlfunktion werden durch die Thermographie massiv verbessert (CHAN *et al.* 1996). Ein entsprechender Einsatz wäre in der Veterinärmedizin besonders im Zoo- und Wildtierbereich sicher bedeutungsvoll.

Der Einfluß der Mähne auf die Thermoregulation ließ sich bei diversen Tierarten gut darstellen. Über die isolierende Mähne verliert ein Tier kaum Wärme, so daß ein zweigeteiltes Thermoprofil entsteht. Die Mähne ist also mit einer veränderten Thermoregulation verbunden, da sie die für den Wärmeaustausch verfügbare Körperoberfläche um bis zu 50 % vermindern kann. Es besteht somit der Verdacht, daß ältere Löwen auf Grund ihrer ausgeprägten Mähne nicht bzw. nur nachts auf die Jagd gehen können, da sie sonst einem Hitzekollaps, verursacht durch einen Wärmestau, erliegen könnten. Dieser Aspekt wurde m.E. bisher in Untersuchungen nicht beachtet. Die ökologischen Kosten einer ausgeprägten Mähne und der damit verbundenen Einschränkungen der Bewegungsintensität bei Löwen unter afrikanischen Klimabedingungen werden jetzt in einem neuen Projekt näher untersucht (HILSBERG & WEST in Vorbereitung).

Die in dieser Arbeit vorgelegten Beobachtungen zur Thermoregulation bei Giraffen hat ein Folgeprojekt initiiert: Das Auftreten von vermehrter Wärmeabstrahlung nur über die dunklen Flecken, nicht jedoch über die hellen Umrandungen der Flecken, korreliert mit anatomisch-physiologischen Befunden entsprechender Hautgefäßstrukturen, die von den Giraffen-Forschern J.D. Skinner und G. Mitchell aus Südafrika aufgedeckt wurden (MITCHELL & HILSBURG 2000). Entsprechende Untersuchungen sollten jetzt auch bei den verschiedenen Zebraarten durchgeführt werden, denn auch hier könnte das Fell vielleicht neben seiner passiven auch eine aktive Rolle in der Thermoregulation spielen. Die Frage „Warum hat das Zebra Streifen?“ steht seit der Entdeckung der Zebras im Raum und ist nur teilweise beantwortet. Die Thermographie bietet einen neuen methodischen Ansatz zur Klärung dieser Frage.

Thermographie in der Reproduktionsmedizin

In der Trächtigkeitsuntersuchung liegt aus derzeitiger Sicht eines der wichtigsten Einsatzgebiete dieser Methode für die Zoo- und Wildtiermedizin der Zukunft. Die Infrarot-Thermographie bietet die bisher einzigartige Kombination von absolut nicht-invasiver Methodik und Sofortdiagnose. Erste Ergebnisse von Trächtigkeitsuntersuchungen aus der Wildtier-Thermographie in Afrika sind vielversprechend, müssen aber noch über statistisch auswertbare Experimente verifiziert werden (HILSBURG & ESPIE in Vorbereitung). Weitere Projekte zur Untersuchung von Nashörnern auf Trächtigkeit sind in Südafrika auf „Game Ranches“ bereits angelaufen. Bislang konnten auch zwei private Tierärzte in Südafrika für den Einsatz dieser Methode gewonnen werden (BESTER 1999, PFITZER 2000). Für Trächtigkeitsuntersuchungen an Elefanten und anderen größeren und kleineren Säugetieren in freier Wildbahn werden z.Z. Interessenten gesucht.

Thermographie in der Elefantenhaltung

Die Infrarot-Befunde der Überwachung von Nagelbettentzündungen bei Elefanten haben bei den Mitgliedern einer internationalen Elefanten-Manager-Organisation großes Interesse gefunden (DOLYE 2000). Da die Nagelbettentzündungen bei Elefanten in Zoologischen Gärten ein weit verbreitetes Problem sind, sollte hier die Forschung mit Hilfe der Thermographie schnell vorangetrieben werden. Die Thermographie scheint derzeit die einzige Methode zu sein, die eine Früherkennung mittels regelmäßiger Screening-Untersuchungen erlauben würde und somit auch eine Frühbehandlung.

Aus den Erkenntnissen dieser Arbeit können jetzt darüber hinaus folgende weiterführende Untersuchungen und Experimente vorgeschlagen werden:

Fragen-Beispiele für künftige Untersuchungen

Für künftige Untersuchungen sollten gezielte Datenerhebungen nach dem Schema in Abbildung 7, Seite 28 erfolgen. Dies ist wichtig, da gerade über die Beine bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen die Wärmeabgabe nichtlinear erfolgt. Auf den folgenden Seiten werden konkrete Beispiele für Fragen gegeben:

Untersuchungen an Zootieren

Gebiet: Allgemeine Thermoregulation

- Welchen summarischen Einfluß auf die allgemeine Thermoregulation bzw. auf die lokale Wärmeabstrahlung einzelner Körperabschnitte haben Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit über einen Temperaturbereich von $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei einzelnen Tierarten? (Erstellung von Eichkurven)
- Welchen Einfluß hat die Sonneneinstrahlung: Ab welcher Sonnenintensität hat die Farbe des Fells einen Einfluß? Wie lange muß ein Tier in der Sonne stehen, bevor sich die Fellfarbe auf die Wärmeaufnahme bzw. -abgabe auswirkt? Wie lange muß ein Tier der direkten Sonnenstrahlung nicht mehr ausgesetzt sein, bevor diese ihren Einfluß verliert? Gibt es Unterschiede in der Absorption der Infrarot-Strahlung zwischen unterschiedlichen Brauntönen? (Bisher wurde nur der Einfluß von „schwarz / weiß“ untersucht.)
- Auswirkungen des Tages/Nachtrhythmus?
- Adaptationsverlauf bei schnell wechselnder Temperatur: wie reagiert das Tier darauf? Welche Körperabschnitte sind besonders betroffen?
- Welchen Einfluß haben Feuchtigkeit auf der Haut und das Bespritzen mit Wasser? Wie lange hält ihr Einfluß an? Ab welchem Feuchtigkeitsgrad strahlt das Tier weniger Wärme von seiner Oberfläche ab?
- Worauf hat die Bewegungsintensität des Tieres Auswirkungen: Wann wird welcher Körperteil bei welcher Art der Bewegung erwärmt und wie stark?
- Fütterung: Welchen Einfluß haben die Nahrungsaufnahme und die Art der Nahrung auf die Untersuchungsergebnisse und für welchen Zeitraum?
- Narkose und Sedation: Welchen Einfluß haben sie auf die periphere Thermoregulation? Ist ein Zusammenbrechen der Thermoregulation mit Auftreten einer Hyperthermie mittels Infrarot in der Körperperipherie besser bzw. auch früher zu erkennen als mittels Rektalthermometer im Körperkern?
- Lokalanästhesie: Welche Auswirkungen zeigt sie auf die periphere Thermoregulation?
- Welchen Einfluß haben der Tier-Kamera-Abstand bzw. das Teleobjektiv auf die absolute Temperaturmessung?

Gebiet: Reproduktionsmedizin und Entzündungsdiagnostik

- Kann der Zyklusverlauf bei weiblichen Tieren (bei Elefanten z.B. über das Vaginalödem im Östrus) verlässlich bestimmt werden, auch bei stillbrünstigen Tieren?
- Trächtigkeit: Ab welchem Stadium ist sie bei welcher wie Tierart erkennbar? Diese Untersuchungen sollten bis zur statistischen Absicherung der Thermographieergebnisse durch Kot-Hormon- oder andere Analysen begleitet werden,.
- Wann wird der Faktor Fellfarbe für die Trächtigkeitsdiagnostik relevant oder verhindert gar eine Diagnose (z.B. beim Zebra)?
- Für welchen Zeitabschnitt und unter welchen exakten Bedingungen macht eine schlechte Adaptation des Tieres an die herrschenden Umweltbedingungen die Lokalisierbarkeit z.B. des Trächtigkeits- oder Entzündungsfeldes unmöglich?

- Kann Hautfeuchtigkeit die Lokalisierbarkeit z.B. des Trächtigkeitsfeldes unmöglich machen? Wenn ja, unter welchen exakten Bedingungen und für wie lange?
- Kann intensive Bewegung die Lokalisierbarkeit z.B. des Trächtigkeitsfeldes gänzlich unmöglich machen? Wenn ja, wann und für welchen Zeitraum?
- Bis zu welchem Tier-Kamera-Abstand kann ein bestimmtes Trächtigkeitsstadium noch sicher diagnostiziert werden?
- Wie ist das charakteristische Hodenwärmeprofil der männlichen Tiere einer Tierart? Korrelieren bei ihnen abnorme Wärmeprofile mit Fertilitätsstörungen?
- Zeigen die Männchen aller Tierarten vermehrte Wärmeabstrahlung während der Paarung?

Untersuchungen an Wildtieren

- Wie regulieren Wildtiere ihre Oberflächentemperatur in verschiedenen Klimaregionen unter natürlichen Bedingungen? (ausgewählte Beispiele)
 Z.B. Nashörner: Temperiert (Ngorongoro Krater – Tansania),
 Wüste (Tswalu – Kalahari - Südafrika, Kaokoveld - Namibia),
 Feucht-warm (Umfolozi - Natal – Südafrika),
 Subtropisch (Lewa Downs, Kenya – Samburo Region),
 Tropisch – Asien (Nepal – Chitwan Nationalpark; Indien)
 Z.B. Elefanten: Wüste (Kalahari - Südafrika, Kaokoveld - Namibia),
 Temperiert (Ngorongoro Krater – Tansania),
 Subtropisch (Lewa Downs, Kenya – Samburo Region)
 Tropisch - Afrika (Regenwald - Zentral-Afrika)
 Tropisch (Indien, Sri Lanka, Thailand)
- Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind: Wann suchen Tiere Schatten oder Wasser auf?
- Welchen Einfluß hat die Umweltstrahlung im Tages-/Nachtrhythmus auf die Tiere?
- Ab welchem Stadium funktioniert und wie sicher ist die Trächtigkeitsuntersuchung über die Infrarot-Thermographie bei wildlebenden Nashörnern, Elefanten, Giraffen, Kaffernbüffeln etc. z.B. im Winter in Südafrika?
- Kann man einen Tuberkulin-Intradermaltest mittels Infrarot-Kamera in Anlehnung an die Ergebnisse von LEPPER *et al.* (1974) bei Kaffernbüffeln im Krüger Nationalpark – Südafrika gesichert ablesen und somit eine zweite Immobilisation ersparen?

10.0 Schlußfolgerungen

Allgemeines

These 1:

Die Infrarot-Thermographie kann für die Erforschung der Thermophysiologie der Tiere, in der Reproduktionsmedizin und in der Entzündungsdiagnostik sinnvoll eingesetzt werden.

Dies belegen die vielen Beispiele der weltweiten Erstuntersuchungen auf allen drei Gebieten.

Da die Untersuchungen aus der Distanz, d.h. ohne direkten Tierkontakt, also ohne Streß und Beeinträchtigung der Tiere und ohne Gefahr für den Untersucher, durchgeführt werden können, ist diese Methode besonders für den Bereich der Zoo- und Wildtiere interessant und wichtig.

Um in Zukunft die Infrarot-Thermographie effektiv einsetzen, ihren Anwendungsbereich ausweiten und auch statistisch gesicherte und überprüfbare Ergebnisse erhalten zu können, müssen **bestimmte Voraussetzungen** erfüllt bzw. erarbeitet werden:

These 2:

Die Infrarot-Thermographie verlangt den Einsatz hochqualifizierter Technik. Folgende Minimal-Anforderungen müssen erfüllt sein:

KAMERA:

- leicht transportabel und handhabbar
- leicht einstellbar auf unterschiedliche Untersuchungsbedingungen
- möglichst schnelle Scan-Geschwindigkeit bei noch genügend guter Auflösung der Bilder
- speicherbare Kommentare zu jedem Infrarot-Bild
- Sofort-Punktmessung im Sucher der Kamera

COMPUTERPROGRAMM ZUR AUSWERTUNG:

- einfache Einstellung der Untersuchungsbedingungen im Bild (Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Tier-Kamera-Abstand etc.)
- einfache Ausgabe des Sprachkommentars zu dem Bild
- genaue Korrektur der Störfaktoren aus den Untersuchungsbedingungen zur Ausgabe möglichst absoluter Temperaturwerte mit geringem Meßfehler
- Möglichkeiten der Punkt- und diverser Flächenmessungen mittels Kreis-, Rechteck- und Polygon-Flächen Werkzeugen
- Angabe von T_{\min} , T_{\max} und T_{avg} zu jeder Meßfläche
- Automatische Angabe des während der Untersuchung eingesetzten Objektivs, Filters und anderer wichtiger Randdaten wie Datum, Uhrzeit etc.

INFRAROT-BILD:

- Ausgabe eines Infrarot-Bildes immer nur mit der zugehörigen temperaturkodierten Referenz-Farbskala.

These 3:

Gute Kenntnisse der Untersucher in

- *Anatomie*
- *Morphologie*
- *Physiologie und*
- *Pathophysiologie*

der zu untersuchenden Tierarten (so weit bekannt) sind für die Erstellung der Infrarot-Bilder und ihre Auswertung unverzichtbar.

Nur so können Fehlinterpretationen vermieden bzw. pathologische Prozesse oder anderweitige untypische Veränderungen erkannt werden. Hierzu gehören wesentlich auch Kenntnisse über den natürlichen Lebensraum der untersuchten Tierart sowie über tierartspezifische Wärmefenster. Die Infrarot-Thermographie ist der Photographie NICHT vergleichbar.

These 4:

Um die Infrarot-Thermographie breitgefächert anwenden und mit anderen Untersuchungsergebnissen vergleichen zu können, müssen zunächst unter standardisierten und spezifizierten Untersuchungsbedingungen umfangreiche Datenerhebungen durchgeführt, zu einer statistisch signifikanten Datenbank zusammengestellt und entsprechende Eichkurven erarbeitet werden.

Dazu gehört, daß bei jeder Untersuchung folgende Punkte erfaßt und beachtet werden:

- Äußerlich erkennbare Oberflächen-, Haut- bzw. Fellbeschaffenheit des Tieres
- Umgebungstemperatur
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Windgeschwindigkeit bei Untersuchungen im Freien
- Sonneneinstrahlung bei Untersuchungen im Freien
- Adaptationszeitraum seit dem Verbringen des Tieres an den Ort der Untersuchung
- Zeit seit der letzten Nahrungsaufnahme
- Aktivität des Tieres vor der Untersuchung, soweit bekannt
- Beurteilung des Stress-Zustandes des Tieres
- Jahreszeit, in der die Untersuchung stattfindet (z.B. jahreszeitliche Fellbeschaffenheit)

Sind dann Folgeuntersuchungen in ihren Randbedingungen vergleichbar, können die Werte ähnlicher Infrarot-Bilder aus der Datenbank zum Vergleich herangezogen werden, da sie als „Normalwerte“ (Eichkurve) angesehen werden können. Abweichungen von den „Normalwerten“ sind als pathologisch anzusehen und müssen u.U. mit anderen Untersuchungsmethoden ursächlich entsprechend abgeklärt werden.

These 5:

Diverse technische und biologische Fehlerquellen muß der Untersucher kennen, um Fehlmessungen und Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Technische Fehlerquellen sind z.B.:

- Gitterstäbe oder andere Gegenstände im Kamerablickfeld, die die Meßwerte verfälschen können
- Wand- oder Fußbodenheizungen als Ursache lokaler Erwärmungen
- Nicht adäquate oder falsche Kameraeinstellungen

Biologische Fehlerquellen sind z.B.:

- Feuchtigkeit der Haut bzw. des Fells
- Zeitlich ungenügende Adaptation an die Umgebungsbedingungen
- Starke Aktivität wie Traben oder Galoppieren vor der Untersuchung
- Nahrungsaufnahme während oder kurz vor der Untersuchung
- Stress-Zustand des Tieres

Allgemeine und pathologische Thermoregulation

These 6:

Die aktuelle artspezifische allgemeine Thermoregulation der unterschiedlichen Tierarten ist im Infrarotbild gut erkennbar:

Tiere regulieren ihre Körpertemperatur artspezifisch und teilweise auch geschlechtsspezifisch. Ihre aktuelle Thermoregulation wird im wesentlichen durch drei Faktoren beeinflusst:

- Adaptation an die Umweltbedingungen bestimmter Lebensräume im Laufe der Evolution (Morphologie!)
- Langfristige Haltungsbedingungen in einem Zoologischen Garten mit der Möglichkeit zur Adaptation an die jeweiligen Umweltbedingungen (z.B. Haus- oder Freigehege-haltung, Wechsel zwischen Haus und Gehege z.B. zwischen Tag und Nacht)
- Aktuelle Umweltbedingungen

These 7:

Physiologische und pathologische Thermoregulation sind durch Infrarot-Thermographie gut voneinander abgrenzbar und streng voneinander zu unterscheiden.

Physiologische Temperaturschwankungen treten z.B. bei juvenilen oder alten Tieren und während der Paarungszeit auf, pathologische z.B. bei Entzündungen, Stress, Unterkühlung oder Wärmestau. Auch bei homoiothermen Tieren kann die Körperkerntemperatur physiologischerweise starken Schwankungen ausgesetzt sein.

Reproduktionsmedizin

These 8:

Trächtigkeiten bewirken am Bauch der Mutter die Entstehung von sog. Trächtigkeitsfeldern. Über diese Wärmefelder kann eine Trächtigkeit mittels Infrarot-Thermographie diagnostiziert werden.

Der stoffwechselaktive Fötus und die Gebärmutter kommen direkt an der Bauchwand des Muttertieres zum Anliegen. Die Wärmeabgabe erfolgt aus dieser zusätzlichen Wärmequelle unter günstigen Umweltbedingungen direkt lokal über die Bauchwand an die Umgebung. Dadurch entsteht an der Bauchwand der Mutter ein Feld lokal vermehrter Wärmeabgabe, das sog. Trächtigkeitsfeld. Aufgrund der anatomischen Verhältnisse sind Trächtigkeitsfelder tierartspezifisch. Im Verlauf einer Trächtigkeit dehnen sich die Trächtigkeitsfelder immer weiter über die Bauchwand einer oder beider Seiten aus.

Mit der Geburt des Jungtieres wandelt sich das Trächtigkeitsfeld in ein Puerperalfeld um, das am Ende des Puerperiums vollständig verschwindet, so daß keine Trächtigkeits- oder Puerperiumassoziierten Wärmefelder mehr am Bauch der Mutter zu erkennen sind.

These 9:

Mittels Infrarot-Thermographie zeichnet sich eine neue Möglichkeit ab, das Östrus-stadium bei Elefanten zu erkennen.

Im Östrus physiologisch auftretende ausgeprägte Vaginalödeme lassen sich mittels Infrarot über ihre vermehrte Wärmeabstrahlung erkennen. Da mittels Infrarot auch feinste Wärmeherde erkannt werden können, besteht die Hoffnung, mit dieser Methode in Zukunft auch stillbrünstige Elefantenkühe im Östrus zu erkennen, da der Vaginalschlauch bei Elefanten direkt unter der Haut liegt und somit der Thermographie zugänglich ist.

Entzündungsdiagnostik

These 10:

Mittels Infrarot-Thermographie können lokale, pathologisch veränderte Temperaturzonen erkannt und eingegrenzt werden.

So lassen sich z.B. in vielen Fällen die verursachenden Krankheitsherde bei Lahmheiten von Zootieren leicht lokalisieren. Als Ursprung von Lahmheiten konnten Entzündungsherde, Polyarthritiden, traumatisch bedingte Veränderungen, Frakturen, Arthrosen oder Nagelbettentzündungen mittels Infrarot-Thermographie nachgewiesen und dann mittels anderer Methoden verifiziert werden. In anderen Fällen wurde nach den Infrarot-Befunden eine symptomatische Therapie eingeleitet. Über die Therapiekontrolle wurden die Infrarot-Befunde indirekt bestätigt.

These 11:

Mittels Infrarot-Thermographie können Tierbestände in Zoologischen Gärten durch Screeninguntersuchungen einfach und effektiv auf Verletzungen, Technopathien oder andere Auffälligkeiten überwacht und somit Schaden von den Tieren abgewendet werden.

Einsatz bei Wildtieren in freier Wildbahn

These 12:

Wie erste Ergebnisse der Infrarot-Thermographie bei Wildtieren in Afrika zeigen, sind auch hier die Erforschung der Thermophysiologie, die Reproduktionsmedizin und die Entzündungsdiagnostik sinnvolle Einsatzgebiete für diese neue Methode.

11.0 Zusammenfassung

Sabine Hilsberg

Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin

Aus dem Zoologischen Garten und der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig
157 Seiten, 280 Abbildungen, 335 Literaturstellen, 3 Anlagen

Der vorliegenden Arbeit liegt die Frage zugrunde, ob und inwieweit sich nach bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen Möglichkeiten abzeichnen, die Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin einzusetzen und, wenn ja, in welcher Richtung die Forschung weitergehen sollte.

Die Infrarot-Thermographie ist eine nichtinvasive Methode. Mit einer Infrarot-Kamera wird eine Messung der Körperoberflächen-Temperatur aus der Distanz durchgeführt und das Thermoprofil des Tieres als Thermogramm dargestellt. Es bedarf keines direkten Tierkontaktes und keiner Immobilisation. Ein Thermogramm ist in dieser Arbeit definiert als ein Infrarot-Bild, das ein Detail oder ein ganzes Tier mit Umgebung darstellt. Das Thermoprofil eines Tieres kann Auskunft über bzw. Hinweise auf bestimmte Aspekte seines Gesundheitszustandes geben, z.B. auf den Stand seiner aktuellen allgemeinen Thermoregulation oder auf lokale Temperaturveränderungen. In den Kapiteln „Thermoregulation bei Tieren - Literaturübersicht“, „Physikalische Grundlagen der Infrarot-Thermographie“ und „Tiere, Material und Methoden“ werden die Grundzüge der Thermoregulation sowie die essentiellen technischen Informationen zusammenfassend dargestellt. Diese Hintergrundinformationen sind für die Erstellung der Infrarot-Bilder und die Interpretation der Befunde wichtig.

Um den Einsatz der Infrarot-Thermographie in der Veterinärmedizin sinnvoll zu gestalten, Chancen ihres Einsatzes zu nutzen, pathologische Befunde zu erkennen und Fehldiagnosen bzw. -interpretationen zu vermeiden, ist Voraussetzung, daß der Untersucher selbst klare Vorstellungen über den technischen Hintergrund und die Grenzen dieser Methode (Technik) hat. Darüber hinaus sind gute Kenntnisse in Thermoregulation, Anatomie, Morphologie, Physiologie und Pathophysiologie der zu untersuchenden Tierarten (so weit bekannt) für die Erstellung der Infrarot-Bilder und deren korrekte Auswertung unerlässlich. Infrarot-Thermographie ist keinesfalls mit Farbphotographie zu vergleichen.

An Fallbeispielen wird belegt, daß die Infrarot-Thermographie eine erfolgversprechende neue Methode in der Zoo- und Wildtiermedizin ist. Schwerpunkte meiner Arbeit waren:

- Erforschung artspezifischer Thermoregulation, besonders im Hinblick auf Tierhaltung und krankheitsauslösende Faktoren bei Zoo- und Wildtieren,
- Reproduktionsforschung mittels Infrarot-Thermographie und
- Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie.

Die meisten hier vorgestellten Ergebnisse sind Erstuntersuchungen weltweit.

Thermoregulation: Es gibt diverse tierartspezifische Aspekte, die für die Haltung von Zootieren wichtig sind oder sein könnten. Einige Tierarten strahlten z.B. mehr Wärme ab als vergleichbar andere, waren also kälteempfindlicher. Hierzu zählten Asiatischer Elefant, Grevy-Zebra, Flachlandtapir, drei Nashornarten und Elenantilope. Die Unterschiede zwischen vergleichbaren Tierarten, z.B. innerhalb einer Familie oder Gattung, können z.T. mit den ökologischen Bedingungen ihres Verbreitungsgebietes erklärt werden.

Aspekte der Tierhaltung sollten über längere Sicht auch mittels Infrarot-Thermographie kritisch bewertet werden. Die Schwierigkeit der Adaptation vieler Tiere an kühle Außentemperaturen bei nächtlicher Unterbringung in geheizten Ställen wird u.a. diskutiert.

Bei Elefanten konnten ein lebensbedrohender Wärmestau nach neuer Unterbringung und die Auswirkung von Stress auf die Thermoregulation eines juvenilen Tieres dargestellt werden. Bei Zebras ließ sich die unterschiedliche Streifung der verschiedenen Arten mittels Infrarot sichtbar machen, je nach den Umständen in unterschiedlicher Intensität. Die Zebraarten unterliegen somit wahrscheinlich artspezifischen Zwängen in ihrer Thermoregulation. Junge Spitzmaulnashörner strahlten in den ersten Lebenstagen viel Körperwärme nach außen ab und waren daher der Gefahr der Unterkühlung ausgesetzt. Bei Spitz- und Breitmaulnashörnern fiel die höhere Wärmeabstrahlung der Bullen gegenüber den Kühen in der Paarungszeit auf. Ein altes Ren zeigte einen hohen Wärmeverlust über das schütterte Fell. Die Mähne z.B. der Löwen zeigte sich als starke Isolationsregion. Bei drei Pinguinarten fielen einige Tiere mit einer pathologischen Thermoregulation auf.

Reproduktionsmedizin: Beispiele bei Nashörnern, Elefanten, Giraffen und anderen Tierarten belegen eindeutig das große Potential dieser Methode beim nicht-invasiven und schnellen Erkennen von Trächtigkeitsfeldern bei Zootieren. Über die Anlagerung von stoffwechselaktivem Fötus und Uterus an die Innenseite der Bauchwand der Mutter kommt es nach der Konduktion der Wärme durch die Bauchwand an deren Außenseite zum lokalen Wärmeaustausch mit der Umgebung. Das entstehende lokale Wärmefeld an der Bauchwand der Mutter bezeichnet man als Trächtigkeitsfeld. Über sein Auftreten kann auf die Trächtigkeit rückgeschlossen, also eine Diagnose bzw. Verdachtsdiagnose gestellt werden. Mit der Geburt des Jungtieres wandelt sich das Trächtigkeitsfeld in ein Puerperalfeld um, das am Ende des Puerperiums vollständig verschwindet. Auf Grund der anatomischen Besonderheiten hat jede Tierart ein für sie typisches Trächtigkeitsfeld.

Mittels Infrarot-Thermographie zeichnet sich auch eine neue Möglichkeit ab, den Östrus bei Elefanten zu erkennen. Ein im Östrus physiologisch auftretendes Vaginalödem läßt sich mittels Infrarot sichtbar machen. Wie bei Giraffen aufgeführt, könnten auch die Messungen bei Männchen bzgl. ihrer Hodentemperaturen für die Reproduktionsforschung an Zootieren bedeutsam werden.

Entzündungsdiagnostik: Auch hier belegen Beispiele die zukunftssträchtige Nutzung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin. Der Einsatz der Infrarot-Thermographie hat für die Erkennung von Prozessen, die mit lokalen Temperaturveränderungen einhergehen, also z.B. auf den Gebieten der Entzündung von Gelenken, in der Traumatologie und in der Lokalisation von Lahmheitsursachen, bei der Überwachung des Heilungsprozesses eines Elefanten mit einer Nagelbettentzündung, bei Hauterkrankungen, bei einer Infektionskrankheit und bei Technopathien gute Ergebnisse geliefert. Die Infrarot-Thermographie ermöglicht somit auch die Früherkennung von Krankheitsprozessen und eine Beurteilung der Effektivität frühzeitiger Therapie

Thermographie bei Wildtieren: Erste Ergebnisse zeigen auch hier sinnvolle und vielversprechende Einsatzgebiete dieser neuen Methode für die Erforschung der Thermophysiologie, für Reproduktionsmedizin und Entzündungsdiagnostik.

Abschließend werden konkrete Vorschläge für notwendige weiterführende Untersuchungen einschließlich der Erstellung von Vergleichswert-Tabellen und Eichkurven angeführt.

11.1 Summary

Sabine Hilsberg

Aspects of the clinical application of Infrared-Thermography in Zoo- and Wildlife Medicine

From the Zoological Garden Leipzig and the Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig
157 pages, 280 figures, 335 literature references, 3 appendices

In this dissertation the question is discussed, whether and in what regards, infrared-thermography can be applied in zoo and wildlife medicine, and if so, in which direction further research should be applied.

Infrared-thermography is a non-invasive method. With an infrared-camera, the body surface temperature of an animal is measured from a distance and the thermoprofile of this animal is then displayed as a thermogram. No direct animal contact or immobilization is necessary. In this work a thermogram is defined as an infrared-picture of a detail or a whole animal with its surroundings. The thermoprofile of an animal can give information on or hints about certain aspects of the animals health status, e.g. on it's current general thermoregulation or local temperature changes. In the chapters on "Thermoregulation in Animals - Literature Overview", "Physical Basics of Thermography", and "Animals, Material and Methods", the basics of thermography as well as the essential technical information are summarized. This information is considered critical for the taking of infrared-pictures as well as their interpretation.

In order to make the application of infrared-thermography in veterinary medicine plausible, realize its potential, and discover pathological alterations while preventing inaccurate diagnosis and/or false interpretations of clinical findings, it is necessary for the investigator to have a clear understanding of the technical aspects of this method and its limitations. In addition, the investigator should have a modern working knowledge of thermoregulation, anatomy, morphology, physiology and pathological physiology of the animals to be investigated. Infrared-thermography is not a new form of color photography.

The case reports show that infrared-thermography is a promising method in zoo and wildlife medicine for the future. My work emphasizes three topics:

- research in species-specific thermoregulation with regard to animal keeping and disease predisposing factors,
- research in reproduction using infrared-thermography, and
- inflammation diagnosis using infrared-thermography.

Most of the presented results are from primary investigations worldwide.

Thermoregulation: There are many species-specific aspects, which are or could be relevant for the keeping of zoo animals. Several species radiated e.g. more heat from there bodies as compared other animals, meaning, they were cold sensitive. These species included Asian elephant, Grevy-zebra, lowland tapire, three rhinoceros species and eland antelope. The differences between comparable species, e.g. between species of one family or genus, can in parts be explained with the ecological settings of its distribution area. On the other hand also aspects of the animal keeping conditions have to be taken into account critically. The difficulty of adaptation to cold ambient temperatures, when housed in heated stables at night, is one of the topics discussed.

In elephants a life threatening heat stress situation, after translocation to a new enclosure, and the effect of psychological stress on the thermoregulation of the ears of a juvenile animal were observed. In zebra, the diverse striping of the different species could, under certain conditions and different intensities, be displayed in thermograms. Zebras therefore probably are faced with different constraints in their thermoregulation. Newborn black rhinoceroses radiated much heat from their bodies in the first days of their lives and hence faced the danger of cold stress. In black and white rhinoceroses a higher temperature was visible in males than females during breeding behavior. An old reindeer displayed high loss of heat from its body through the incomplete fur cover. The mane e.g. of lions was characterized as an area of good insulation. In three penguin species several individuals showed pathological thermoregulation.

Reproduction medicine: Examples on rhinoceroses, elephants, giraffes and a few other species display the great potential of this method for non-invasive and fast diagnosis of pregnancy associated heat areas in zoo and wild animals. During the deposition of the intensively metabolizing fetus and the uterus against the internal side of the body wall of the mother, conduction of heat takes place through the body wall, and on its outside the heat is exchanged with the environment. The local heat area on the mother's body is by definition called a pregnancy-field. From its appearance a conclusion can be drawn regarding the pregnancy status of the animal, hence a diagnosis or prediction can be made. When the young is born, the pregnancy-field changes into a puerperal-field, which then disappears at the end of the puerperal phase. Due to the specific anatomy, each animal species displays a species-specific pregnancy-field.

With infrared-thermography a possibility to detect the estrus stage in elephants arises. The edema of the vaginal sheath is physiological in elephants in estrus and can hence be detected using infrared. As indicated in giraffes, the measurement of the temperature of the testicles in males could become an important factor in reproductive medicine in zoo animals. In cattle, a relationship between scrotal temperature and fertility was significant.

Inflammation diagnostics: Many examples show the potential of infrared-thermography in zoo and wild animal medicine. The application of infrared-thermography has led to good results in detecting processes, which were associated with local or general changes in surface temperatures, e.g. in the areas of joint inflammation, in traumatology, in localizing the area of the origin of a lameness, in the supervision of a healing process in an elephant with pododermatitis, for dermatology, in an infectious disease and in discovering technopathias. Infrared-thermography enables the investigator to detect pathological processes in an early stage, and allows an early evaluation of the applied therapy.

Thermography in wildlife medicine: First results show promise in application of this new method for research in thermoregulation, reproductive medicine and inflammation diagnosis.

For all areas mentioned specific suggestions for necessary continuing investigations are given, including the establishment of reference-value tables and calibration curves.

12. Literaturverzeichnis

- ADAMS, K.P. & P.J. PERKINS (1997): Evaluation of infrared technology for aerial moose surveys in New Hampshire. *Alces* 33, 129-139.
- AGEMA (1989): *Thermovision® 470: Technische Daten*. AGEMA Infrared Systems, Schweden.
- AGEMA (1996): *Thermovision® 550: Technische Daten*. AGEMA Infrared Systems, Schweden.
- AGEMA (1998): *Thermovision® 570: Technische Daten*. AGEMA Infrared Systems, Schweden.
- ALLBROOK, D.B., A.M. HARTHOORN, C.P. LUCK & P.G. WRIGHT (1958): Temperature regulation in the white rhinoceros. *J. Physiol.* 143, P51-P52.
- ALLEN, K. & E. PASCOE (1998): Show and tell: High-tech imaging methods can reveal the source of lameness and much more. *Practical Horseman* 1998(10), 74-78.
- BAKER, M.A. (1982): Brain cooling in endotherms in heat and exercise. *Ann. Rev. Physiol.* 44, 85-96.
- BAKER, N.A., M.J. CRONIN & D.G. MONTJOY (1976): Variability of skin temperature in the waking monkey. *Am. J. Physiol.* 230, 449-455.
- BAKKEN, G.S. (1991): Wind speed dependence of the overall thermal conduction of fur and feather insulation. *J. Therm. Biol.* 16, 121-126.
- BARNES, B.M. (1989): Freeze avoidance in a mammal: Body temperatures below 0 °C in an arctic hibernator. *Science* 244, 1593-1595.
- BARNES, R.B. (1967): Determination of body temperature by infrared emission. *J. Appl. Physiol.* 22, 1143-1146.
- BARNETT, C.H. & C.D. MARDSEN (1961): Functions of the mammalian carotid rete mirabile. *Nature* 191, 88-89.
- BAUER, A., M. SELTMANN & G. ZEUG (1979): *Die Anwendung der Infrarotmeßtechnik in der Veterinärmedizin, dargestellt an Ergebnissen von fernoptischen Untersuchungen der Temperatur der Körperoberfläche bei Kälbern*. Ingenieurarbeit, Beichlingen.
- BENEDICT, F.G. (1934): Die Oberflächenbestimmung verschiedener Tiergattungen. *Ergeb. Physiol.* 36, 300-346.
- BENEDICT, F.G. (1936): *The physiology of the elephant*. Carnegie Institute, Washington, DC.
- BENEDICT, F.G. (1938): *Vital energetics: A study in comparative metabolism*. Carnegie Institute, Washington, DC.

- BENEDICT, F.G., E.L. FOX & M.L. BAKER (1921): The surface temperature of the elephant, rhinoceros, and hippopotamus. *Am. J. Physiol.* 56, 464-474.
- BENNETT, A., A. HUEY, H. JOHN-ALDER & K. NAGY (1984): The parasol tail and thermoregulatory behavior of the Cape ground squirrel (*Xerus inauris*). *Physiol. Zool.* 57, 57-62.
- BENNETT, C. & S.L. LINDSEY (1992): Some notes on the physiological and behavioral ontogeny of okapi (*Okapia johnstoni*) calves. *Zoo Biol.* 11 (6), 433-442.
- BERBIGER, P. (1975): Sur la mesure des changes de chaleur au niveau de la méthode du bilan d'énergie. *Ann. Zootech., Paris* 24, 413-421.
- BERGSMANN, O. (1980a): Meteorologisch bedingte Regulationsänderungen. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 39-43.
- BERGSMANN, O. (1980b): Zur Dynamik der Infrarotsymptome bei Lungenerkrankungen. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 157-170.
- BEST, R.G. & R. FOWLER (1981): Infrared emissivity and radiant surface temperatures of Canada and snow geese. *J. Wildl. Manage.* 45(5), 1026-1029.
- BESTER, P. (1999): Persönliche Mitteilung.
- BLIGH, J. & A.M. HARTHOORN (1965): Continuous radio-telemetric records of the deep body temperature of some unrestrained African mammals under near natural conditions. *J. Physiol.* 176, 145-162.
- BLOHMKE, M. (1980): Klinische Überprüfung der Thermoregulationsdiagnostik. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 130-137.
- BOILY, P. & D.M. LAVIGNE (1996): Thermoregulation of juvenile grey seals, (*Halichoerus grypus*), in air. *Can. J. Zool.* 74(2), 201-208.
- BOONSTRA, R., C.J. KREBS, S. BOUTIN & J.M. EADIE (1994): Finding mammals using far-infrared thermal imaging. *J. Mammal.* 75(4), 1063-1068.
- BOONSTRA, R., J.M. EADIE, C.J. KREBS & S. BOUTIN (1995): Limitations of far-infrared thermal imaging in locating birds. *J. Field Ornithol.* 19(2), 192-198.
- BORNER, M. (2000): Persönliche Mitteilung.
- BOTTCHER, R.W., L.B. DRIGGERS, S.L. PARDUE, J.T. BRAKE & P.S. BISESI (1991): *Comparison of diurnal ventilation strategies for poultry*. Paper American Society of Agricultural Engineers. No. 91-4563.
- BOTTCHER, R.W., S.L. PARDUE, J.T. BRAKE, B.M. JACOBSON, L.B. DRIGGERS, G.R. BAUGHMAN & P.S. BISESI (1992): *Thermography for evaluating thermal comfort of poultry*. Paper American Soc. Agric. Engineers. No. 92-4539.

- BREUCKMANN, B. (1993): *Bildverarbeitung und optische Meßtechnik in der industriellen Praxis*. Franzis, München.
- BRODY, S. & R.C. PROCTER (1932): Relation between basal metabolism and mature body weight in different species of mammals and birds. *Univ. Missouri Agric. Exp. Stat. Res. Bul.* 166, 89-101.
- BÜRGER, M., U. SEDLAG & R. ZIEGER (1980): *Zooführer*. Urania, Leipzig.
- BUSCH, H.J. & L. BUSCH (1980): Beitrag zur Meßbarkeit der menschlichen Basisregulation mit physikalischen Methoden. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 44-56.
- BUSS, I.O. & J.A. ESTES (1971): The functional significance of movement and positions of the pinnae of the African elephant, (*Loxodonta africana*). *J. Mammal.* 52, 21-27.
- CALLE, P.P., B.L. RAPHAEL & N.M. LOSKUTOFF (1993): Giraffid reproduction. In: FOWLER, M.E. (Ed.): *Zoo and wild animal medicine: Current therapy 3*. Saunders, Philadelphia, pp. 549-554.
- CARVALHO, F.A., M.A. LAMMOGLIA, M.J. SIMOES & R.D. RANDEL (1995): Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subject to heat stress. *J. Anim. Sci.* 73(12), 3570-3573.
- CASEY, T.M., P.C. WITHERS & K.K. CASEY (1979): Metabolic and respiratory responses of arctic mammals to ambient temperature during summer. *Comp. Biochem. Physiol. A* 64, 331-342.
- CENA, K. (1966): Investigations of absorption of solar radiation by cattle and horses with various coat colors. *Acta Agr. Silvest.* 6, 93-138.
- CENA, K. & J.A. CLARK (1973a): Thermal radiation from animal coats: Coat structure and measurements of radiative temperature. *Physics Med. Biol.* 18, 432-443.
- CENA, K. & J.A. CLARK (1973b): Thermographic measurements of the surface temperature of animals. *J. Mammal.* 54, 1003-1007.
- CHAN, F.H.Y., A.T.P. SO & F.K. LAM (1996): Generation of three-dimensional medical thermograms. *Bio-Med. Mat. Eng.* 6(6), 415-428.
- CHAPPEL, R.W. & R.J. HUDSON (1978): Winter bioenergetics of Rocky Mountain bighorn sheep. *Can. J. Zool.* 56, 2388-2393.
- CHUDAZEK, Z. (1974): Der Einsatz der Thermographie bei der tiefen Beinvenenthrombose. *Muench. Med. Wochenschr.* 116, 1405-1409.
- CLARK, I.A. & K. CENA (1972): Die Anwendung der Thermovisionstechniken bei Tieren. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 79, 292-296.

- CLARK, I.A. & K. CENA (1977): The potential of infrared thermography in veterinary diagnosis. *Vet. Rec.* 100(19), 402-404.
- CLARK, I.A., B.J. MULLAN & L.G. PUGH (1977): Skin temperature during running - a study using infrared colour thermography. *J. Physiol.* 267, 53-62.
- CLIPPINGER, T.L. & R.A. COOK (1999): Diagnostic thermography: Applications in zoo animal medicine. *Proc. Am. Assoc. Zoo Vet.*, pp. 191-193.
- COLLES, C.M. (2000a): The use of thermography in the diagnosis of back dysfunction in the horse. *World of Thermography* 3-7. March, 2000, Barth, England.
- COLLES, C.M. (2000b): Osteopathic treatment of „back pain“ in the horse. (*unpublished*).
- COX, R. (1987): Der Prinz-Alfred-Hirsch auf den Philippinen. *Bongo* 12, 17-22.
- CROON, G.W., D.R. McCULLOUGH, C.E. OLSON & L.M. QUEAL (1968): Infrared scanning techniques for big game censusing. *J. Wildl. Manage.* 32(4), 751-759.
- CUYLER, L.C., R. WIULROD & N.A. ORITSLAND (1992): Thermal infrared radiation from free-living whales. *Mar. Mamm. Sci.* 8(2), 120-134.
- DÄMMRICH, K. (1990): Regeneration und Reparatur. In: STÜNZI, H. & E. WEISS (Hrsg.): *Allgemeine Pathologie für Tierärzte und Studierende der Tiermedizin*. Achte Auflage. Parey, Berlin, S. 291-298.
- DANDELOT, P. (1970): © colour plates. In: DROST, J. & P. DANDELOT: *Collins Field Guide: Larger mammals of Africa*. Harper Collins, Hong Kong, plate 24.
- DANZ, J. (1981). Probleme bei der Anwendung der Infrarotthermometrie in der Medizin. *Wiss. Ber. Tech. Hoch. Leipzig.* 17, 82-85.
- DAWSON, T.J. & G.D. BROWN (1970): A comparison of the insulative and reflective properties of the fur of desert kangaroos. *Comp. Biochem. Physiol.* 37, 23-38.
- DEHNHARDT, G., B. MAUCK & H. HYVÄRINEN. (1998): Ambient temperature does not affect the tactile sensitivity of mystacial vibrissae in harbour seals. *J. Exp. Biol.* 201(22), 3023-3029
- DEIAHANTY, D.D. & J.R. GEORGI (1965): Thermography in equine medicine. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 147(3), 235-238.
- DeLAMO, D.A. (1989): *Temperature regulation and energetics of the guanaco (Lama guanicoe)*. Ph.D. dissertation, Univ. of Illinois, Urbana-Champaign.
- DeLAMO, D.A. & J.E. HEATH (1985): Surface temperature regulation in guanacos determined by thermography. *Physiologist* 28, 273.
- DIAZ-SAMAYOA DE AGUIRRE, L. (1990): *Vergleichende Hormonuntersuchungen in Blutplasma, Harn und Kot beim weiblichen und männlichen asiatischen Elefanten (Elephas maximus)*. Vet. Med. Diss., Univ. Hannover.

- DIX, K. (1963): *Die Körpertemperatur beim Rind in ihren Beziehungen zur Ovulation und Gravidität*. Vet. Med. Diss., Univ. München.
- DORRENSTEIN, G.M. & N. KUMMERFELD (1998): Singvögel. In: GABRISCH, K. & P. ZWART (Hrsg.): *Krankheiten der Heimtiere*. Vierte Auflage, Schlütersche, Hannover, S. 327-395.
- DOYLE, C. (1999): EMA position Statement: Elephants and chaining. *J. Elephant Manage. Assoc.* 10(3), 204.
- DOYLE, C. (2000): Persönliche Mitteilung.
- DRAPER, J.W. & J.W. BOAG (1971a): The calculation of skin temperature distributions in thermography. *Physics Med. Biol.* 16, 201-211.
- DRAPER, J.W. & J.W. BOAG (1971b): Skin temperature distributions over veins and tumors. *Physics Med. Biol.* 16, 645-654.
- DYCE, K.M., W.O. SACK & C.J.G. WENSING (1991): *Anatomie der Haustiere: Lehrbuch für Studium und Praxis*. Enke, Stuttgart.
- ESPIE, I. (2000): Persönliche Mitteilung.
- ESTES, R.D. (1991): *The behavior guide to African mammals*. University of California Press, Berkeley.
- EULENBERGER, K. (1995): Flußpferde. In: GÖLTHENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 246-255.
- EULENBERGER, K. (1997): Persönliche Mitteilung.
- EULENBERGER, K. (1999): Persönliche Mitteilung.
- EULENBERGER, K. & P. KÄMPFER (1994): Die Infrarotthermografie bei Zoo- und Wildtieren – Erste Erfahrungen. *Verh.ber. Erkr. Zootiere* 36, 181-183.
- EULENBERGER, K. & P. KÄMPFER (1996): Persönliche Mitteilung.
- EULENBERGER, K. & P. KÄMPFER (unveröffentlicht): Infrarot-Bilder.
- FELDMAN, H.A. & T.A. McMAHON (1983): The 3/4 mass exponent for energy metabolism is not a statistical artifact. *Resp. Physiol.* 52, 149-163.
- FIELDAN, L.J., J.P. WAGGON, M.R. PERRIN & G.C. HICKMAN (1990): Thermoregulation in the Namib desert golden mole (*Eremitalpa granti namibiensis*) (Chrysochloridae). *J. Arid Environ.* 18, 221-237.
- FINCH, V.A. (1972a): Energy exchanges with the environment of two East African antelopes, the eland and the hartebeest. *Symp. Zool. Soc. London* 31, 315-326.
- FINCH, V.A. (1972b): Thermoregulation and heat balance of the East African eland and hartebeest. *Am. J. Physiol.* 222, 1374-1379.

- FLORES, C.E. (1978): *Berührungslose Temperaturmessung an der Hautoberfläche beim Pferd*. Vet. Med. Diss., Univ. Hannover.
- FOWLER, M.E. (1986): Restraint. In: FOWLER, M.E. (Ed.): *Zoo & wild animal medicine*. Second Edition. Saunders, Philadelphia, pp. 37-50.
- FOWLER, M.E. (1993): Foot care in elephants. In: FOWLER, M.E. (Ed.): *Zoo and wild animal medicine: Current therapy 3*. Saunders, Philadelphia, pp. 448-453.
- FOWLER, M.E. (1995): *Restraint and handling of wild and domestic animals*. Second Edition. Iowa State University Press, Ames.
- FRENCH, A.R. (1988): The patterns of mammalian hibernation. *Am. Sci.* 76, 569-575.
- FRÖHLICH, E. (1959): *Untersuchungen über die Hauttemperaturen bei einzelnen Haustieren unter Berücksichtigung der Sonnenbestrahlung*. Med. Vet. Diss., Univ. München.
- GANSSEN, A. (1971): Medizinische Thermographie. *Röntgenpraxis - Stuttgart* 14 (5), 97-109.
- GARNER, D.L., H.B. UNDERWOOD, W.F. PORTER (1995): Use of modern infrared thermography for wildlife population surveys. *Environ. Manage.* 19(2), 233-238.
- GAUSSORGUES, G. (1994): *Infrared thermography*. Chapman & Hall, London.
- GHA FIR, Y., P. SPRUYT, T. ART & P. LEKEUX (1996): Standardization of measurements in infrared thermal imaging in large animals. *Ann. Méd. Vét.* 140(1), 23-27.
- GHA FIR, Y., T. ART & P. LEKEUX (1996): Infrared thermography in the study of thermoregulation in the horse: Training effects. *Ann. Méd. Vét.* 140(2), 131-135.
- GIESEKING, W., W. SCHWABE & B. SEIDEL (1990): Untersuchung des dämpfenden Einflusses der Haarkleider ausgewählter heimischer Tiere auf deren Oberflächentemperaturen. *Krim. Forens. Wiss.* 79/80, 34-41.
- GOLDBERG, P.S. (1977): *The use of infrared scanning systems for the census of big game animals*. M.S. Thesis. Utah State Univ., Salt Lake City.
- GOLIGHTLY, R.T. Jr. & R.D. OHMART (1978): Heterothermy in free-ranging Abert's squirrels (*Sciurus aberti*). *Ecology* 59, 897-909.
- GÖLTENBOTH, R. (1995a): Die medikamentöse Immobilisation der Zoo- und Wildtiere. In: GÖLTENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 3-8.
- GÖLTENBOTH, R. (1995b): Nashörner. In: GÖLTENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 209-233.
- GÖLTENBOTH, R. (1997a): Persönliche Mitteilung: Nagelbettentzündungen und Hautabszesse bei Elefanten.

- GÖLTENBOTH, R. (1997b): Persönliche Mitteilung: Krankheiten der Flußpferde.
- GÖLTENBOTH, R. (1997c): Persönliche Mitteilung: Behandlungsverlauf des Flußpferdes „Nante“.
- GÖLTENBOTH, R. & A. OCHS (1999): *Internationales Zuchtbuch für Afrikanische Nashörner*. Nummer 8. Zoologischer Garten Berlin, Berlin.
- GOSWAMI, S.K., L.D. DHINGRA & S.K. NAGPAL (1993): Histomorphological basis of role of hump in thermoregulation and water conservation in one-humped camel. *Indian J. Anim. Sci.* 63(10), 1028-1030.
- GRAVES, H.B., E.D. BELLIS & W.M. KNUTH (1972): Censusing white-tailed deer by airborne thermal infrared imagery. *J. Wildl. Manage.* 36(3), 875-884.
- HAGAN, A.A. & J.E. HEATH (1980): Regulation of heat loss in the duck by vasomotion in the bill. *J. Therm. Biol.* 5, 95-101.
- HALLER, P., A. KUHLE & O. ANNA (1980). Berührungsfreie Hauttemperaturmessung am Beispiel zerebraler Ischämien und Sympathikusläsionen. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 149-156.
- HAMMEL, H.T. (1955): Thermal properties of fur. *Am. J. Physiol.* 182, 369-376.
- HAMMEL, H.T. (1956): Infrared emissivities of some Arctic fauna. *J. Mammal.* 37, 375-378.
- HANSEN, L.P. & J. BERINGER (1996): White-tailed deer population management and harvest analysis: Evaluation of forward-looking-infrared (FLIR) imaging for determining characteristics of white-tailed deer populations. *Missouri Dept. of Conservation*.
- HÄNTZSCHEL, H. (1981): Anwendungen der Infrarotmeßtechnik in der Medizin. *Wiss. Ber. Tech. Hoch. Leipzig*. 17, 90-106.
- HARDY, J.D. (1934a): The radiation of heat from the human body. I. An instrument for measuring the radiation and surface temperature of skin. *J. Clin. Invest.* 13, 593-604.
- HARDY, J.D. (1934b): The radiation of heat from the human body. III. The human skin as a black-body radiator. *J. Clin. Invest.* 13, 615-620.
- HAROLDSON, B.S. & J.B. McANINCH (1993): Use of thermal infrared aerial videography for wildlife surveys. *Minn. Dep. Nat. Resour. Wildl. Popul. Res. Unit Ann. Rep.*
- HAROLDSON, B.S., E.P. WIGGERS, L.P. HANSEN, J. BERINGER & J.B. McANINCH (1996): Evaluation of thermal infrared imaging for detection of white-tailed deer in central Missouri - a progress report. *Minn. Dep. Nat. Resour. Wildl. Popul. Res. Unit Ann. Rep.*

- HARPER, D. (2000): Thermography in veterinary medicine. *Infrared Training Center* 1(4), 1-2.
- HART, J.S., O. HEROUX, W.H. COTTLE, & C.A. MILLS (1961): The influence of climate on metabolic and thermal responses of infant caribou. *Can. J. Zool.* 39, 845-856.
- HARTMANN, H. & H. MEYER (1994): *Klinische Pathologie der Haustiere*. Fischer, Jena.
- HARVEY, P.H. & P.M. BENNET (1983): Brain size, energetics, ecology, and life history patterns. *Nature* 306, 314-315.
- HARZBECKER, K. & H.R. MÜLLER (1981): Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Medizin - Darlegung der Anwendung in den einzelnen Fächern der Medizin. *Wiss. Ber. Tech. Hoch. Leipzig* 17, 86-89.
- HAVENS, K.J. & E.J. SHARP (1998): Using thermal imagery in the aerial survey of animals. *Wildl. Soc. Bull.* 26(1), 17-23.
- HAYSEN, V. & R.C. LACEY (1985): Basal metabolic rates in mammals: Taxonomic differences in the allometry of BMR and body mass. *Comp. Biochem. Physiol. A* 81, 741-754.
- HEATH, J.E. (1965): Temperature regulation and diurnal activity in horned lizards. *Univ. Calif. Publ. Zool.* 64, 97-136.
- HEATH, J.E., B.A. WILLIAMS & S.H. MILLS (1971): Interactions of hypothalamic sensitivity and body size in vertebrates. *Int. J. Biometeorol.* 15, 254-257.
- HEATH, J.E., B.A. WILLIAMS, S.H. MILLS & M.J. KLUGER (1972): The responsiveness of the pre-optic anterior hypothalamus to temperature in vertebrates. In: SOUTH, F.E., J.P. HANNON, J.R. WILLIS, E.T. PENGELLEY & N.R. ALPERT (Eds.): *Hibernation and Hypothermia*. Elsevier, New York, pp. 605-627.
- HEIM, G. (1980): Thermoregulation im Zeitablauf unter verschiedenen Belastungsformen. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 64-73.
- HEINS, J.-U. & H. SCHULZ (1998): *Im Land der Schneeaffen – Wildnis in Japan*. NDR Naturfilm. Wildlife TV. Norddeutscher Rundfunk, Hamburg.
- HELDMAIER, G., H. BOECKLER, A. BUCHBERGER, S. KLAUS, W. PUCHALSKI, S. STEINLECHNER & H. WIESINGER (1986): Seasonal variation of thermogenesis. In: HELLER, H.C., X.J. MUSACCHIA & L.C.H. LANG (Eds.): *Living in cold: Physiological and biochemical adaptations*. Elsevier, New York, pp. 361-372.
- HENSEL, H. (1980): Die Wärmeregulation des Menschen. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 14-22.

- HENSHAW, R.E. (1968): Temperature regulation during hibernation: Applications of Newton's law of cooling. *J. Theor. Biol.* 20, 79-90.
- HERBERT, K.S. (1998): Thermography: Heat waves of the future. *The Horse*. 1, 1.
- HERBERT, K.S. (1999): Thermography: Heat waves of the future. *Live Animal Trade and Transport Magazine* 3, 27.
- HERZOG, S.M. (1989): *Daten zur Fortpflanzungsphysiologie des asiatischen Elefanten (Elephas maximus) im Zoologischen Garten Zürich*. Vet. Med. Diss., Univ. Zürich.
- HESSE, R., W.C. ALLEE & K.P. SCHMIDT (1951): *Ecological animal geography*. John Wiley and Sons, New York.
- HEUSER, A.A. (1982): Energy metabolism and body size. I. Is the 0,75 mass exponent of Kleiber a statistical artifact? *Resp. Physiol.* 48, 1-12.
- HEUSER, A.A. (1991): Size and power in mammals. *J. Exp. Biol.* 160, 25-54.
- HILDEBRANDT, T.B., F. GÖRITZ, M.D. STETTER, R. HERMES & R.R. HOFMANN (1998): Applications of sonography in vertebrates. *Zoology* 101(3), 200-209.
- HILEY, P.G. (1977): The thermoregulatory response of the rhinoceros (*Diceros bicornis* and *Ceratotherium simum*) and the zebra (*Equus burchelli*) to diurnal temperature change. *East Afr. Wildl. J.* 15, 337.
- HILSBERG, S. (1997): Is your rhino pregnant? Infrared-Thermography: A noninvasive method for the diagnosis of pregnancies in zoo- and wild animals. *Proc. Internat. Union Direc. Zool. Gard., IUDZG* 52, 64-69.
- HILSBERG, S. (1998a): Infrared-Thermography in Zoo Animals: New Experiences with this Method, its Use in Pregnancy and Inflammation Diagnosis and Survey of Environmental Influences and Thermoregulation in Zoo Animals. *EAZWV Proc. 2nd Sci. Meeting, May 20-24, Chester, England*, pp. 397-410.
- HILSBERG, S. (1998b): Infrarot-Thermographie bei Zootieren: Erste Erfahrungen im Einsatz zur Trächtigkeits- und Entzündungsdiagnostik. *Bongo* 28, 1-8.
- HILSBERG, S. & I. ESPIE (in Vorbereitung). Infrared thermography as tool in the diagnosis of pregnancies in free-ranging white rhinoceroses.
- HILSBERG, S. & K. EULENBERGER (1997): Infrared-Thermography in zoo animals: Preliminary experiences from its use in mammalian pregnancy diagnosis and avian and reptilian egg control. *Proc. AAZV Ann. Conf.*, Oct. 26 - 30, Houston, Texas, pp. 343-347.
- HILSBERG, S. & P. WEST (in Vorbereitung). Thermophysiology and the effect of the mane in Serengeti lions.
- HILSBERG, S., R. GÖLTENBOTH & K. EULENBERGER (1997): Infrarot-Thermografie bei Zootieren: Erste Erfahrungen im Einsatz zur Trächtigkeitsdiagnostik. *Verh.ber. Erkr. Zootiere* 38, 187-190.

- HOCHACHKA, P.W. & G.N. SOMERO (1984): Temperature adaptation. *In*: HOCHACHKA, P.W. & G.N. SOMERO (Eds.): *Biochemical adaptation*. Princeton Univ. Press., Princeton, pp. 355-449.
- HODGSON, D.R., R.E. DAVIS & F.F. McCONAGHY (1994): Thermoregulation in the horse in response to exercise. *Br. Vet. J.* 150, 219-235.
- HOLTER, J.B., W.E. URBAN, H.H. HAYES, H. SILVER & H.R. SKUTT (1975): Ambient temperature affects on physiological traits of white-tailed deer. *Can. J. Physiol.* 53, 679-685.
- HONGO, T.T. & C.P. LUCK (1953): The circulation in the tail of a monkey (*Ceropithecus pygerythrus*). *J. Physiol.* 122, 570-581.
- IRVING, L. (1956): Physiological insulation of swine as bare-skinned mammals. *J. Appl. Physiol.* 9, 414-420.
- IRVING, L. (1962): The homeothermous condition of the tissues of warm-blooded animals. *In*: HANNAN, J.P. & E. VIERECK (Eds.): *Comparative Physiology of Temperature Regulation*. Artic Aeromedical Laboratory, Fort Wainwright, Alaska, pp. 133-174.
- IRVING, L. & J. KROG (1955): Temperature of the skin in the Arctic as a regulator of heat. *J. Appl. Physiol.* 8, 355-364.
- IRVING, L., J. KROG & M. MONSON (1955): The metabolism of some Alaskan mammals in winter and summer. *Physiol. Zool.* 28, 173-185.
- IRVING, L., L.J. PEYTON & M. MONSON (1956): Metabolism and insulation of swine as bare-skinned mammals. *J. Appl. Physiol.* 9, 421-426.
- JACKSON, D.C. & K. SCHMIDT-NIELSEN (1964): Countercurrent heat exchange in the respiratory passages. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 51, 1192-1197.
- JACOBSON, H.A., J.C. KROLL, R.W. BROWNING, B.H. KEORTH & M.H. CONWAY (1997): Infrared-triggered cameras for censusing white-tailed deer. *Wildl. Soc. Bull.* 25(2), 547-556.
- JESSEN, C. (2000): Wärmebilanz und Temperaturregulation. *In*: VON ENGELHARDT, W. & G. BREVES (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. Enke, Stuttgart, S. 467-481.
- JOHANSEN, K. (1962): The evolution of mammalian temperature regulation. *In*: HANNON, J.P. & E. VIERECK (Eds.): *Comparative Physiology of Temperature Regulation*. Arctic Aeromedical Laboratory, Fort Wainwright, Alaska, pp. 73-131.
- JOHNSON, M.K., J.W. DAY & B.M. ZIELINSKI (1997): Ghosts in the forest. *Forest and Landowner* 56(6), 21-24.
- KAEMMERER, K. & B. BUNTENKÖTTER (1971): Thermovision als Meßsystem in der Pharmakologie. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 78, 296-298.

- KAMPHUES, J., D. SCHNEIDER & J. LEIBETSEDER (1999): *Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung*. M. & H. Schaper, Hannover.
- KARLSSON, H., R. OLEGARD & K. NILSSON (1996): Regional skin temperature, heat flow and conductance in preterm neonates nursed in low and in neutral environment temperature. *Acta Paediatr.* 85(1), 81-87.
- KASTELIC, J.P., G.H. COULTER & R.B. COOK (1995): Scrotal surface, subcutaneous, intratesticular, and intraepididymal temperatures in bulls. *Theriogenology* 44(1), 147-152.
- KASTELIC, J.P., R.B. COOK & G.H. COULTER (1996a): Contribution of the scrotum and testes to scrotal and testicular thermoregulation in bulls and rams. *J. Reprod. Fertil.* 108(1), 81-85.
- KASTELIC, J.P., R.B. COOK, G.H. COULTER & R.G. SAACKE (1996b): Ejaculation increases scrotal surface temperature in bulls with intact epididymides. *Theriogenology* 46(5), 889-892.
- KASTELIC, J.P., R.B. COOK, G.H. COULTER, G.L. WALLINS & T. ENTZ (1996c): Environmental factors affecting measurement of bovine scrotal surface temperature with infrared thermography. *Anim. Reprod. Sci.* 41(3-4), 153-159.
- KASTELIC, J.P., R.B. COOK & G.H. COULTER (1997): Contribution of the scrotum, testes, and testicular artery to scrotal/testicular thermoregulation in bulls at two ambient temperatures. *Anim. Reprod. Sci.* 45(4), 255-261.
- KEET, D.F., D.G. GROBLER, J.P. RAATH, J. GOUWS, J. CARSTENS & J.W. NESBIT (1997): Ulcerative pododermatitis in free-ranging African elephant (*Loxodonta africana*) in the Kruger National Park. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 64(1), 25-32.
- KELLER, G. (1980a): Die Pathophysiologie der Wärmeregulation. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 23-26.
- KELLER, G. (1980b): Zur Wertigkeit der Thermographie in der Regulationspathologie. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 57-62.
- KEYL, W. & G. HÖR (1974): Angiographie, Szintigraphie und Thermographie bei Knochentumoren. *Muench. Med. Wochenschr.* 116, 307-310.
- KLÄRNER, D. (1999): Ein Schnurrbart mit Heizung. *Natur und Wissenschaft, FAZ* 17.2.1999.
- KLEIBER, M. (1932): Body size and metabolism. *Hilgardia* 6, 315-353.
- KLIR, J.J. (1991): *Thermoregulation in foxes*. Ph.D. dissertation. Univ. of Illinois, Urbana-Champaign.

- KLIR, J.J., J.E. HEATH (1992): An infrared thermographic study of surface temperature in relation to external thermal stress in three species of foxes: The red fox (*Vulpes vulpes*), arctic fox (*Alopex lagopus*), and kit fox (*Vulpes macrotis*). *Physiol. Zool.* 65(5), 1011-1021.
- KLIR, J.J., J.E. HEATH & N. BENNANI (1990): An infrared thermographic study of the surface temperature in relation to thermal stress in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*). *Comp. Biochem. Physiol. A* 96, 141-146.
- KLUGER, M.J. & J.E. HEATH (1970): Vasomotion in the bat wing: a thermoregulatory response to internal heating. *Comp. Biochem. Physiol.* 32, 219-226.
- KLUGER, M.J. & J.E. HEATH (1971): Effect of per-optic anterior hypothalamic lesions on thermoregulation in the bat. *Am. J. Physiol.* 221, 144-149.
- KOERTH, B.H., C.D. McKOWN & J.C. KROLL (1997): Infrared-triggered camera versus helicopter counts of white-tailed deer. *Wildl. Soc. Bull.* 25(2), 557-562.
- KOLLIAS, G. (2000): Persönliche Mitteilung.
- KORHONEN, H. & M. HARRI (1986): Heat loss from farmed racoon dogs and blue foxes as evaluated by infrared thermography and body cooling. *Comp. Biochem. Physiol. A* 84, 361-364.
- KRUMMBIEGEL, I. (1953/55): *Biologie der Säugetiere*. 2 Bände. Agis, Krefeld.
- KUNTZE, A. (1995): Schweine. In: GÖLTHENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 233-245.
- KUNTZE, A. (1997): Zum Problem "Hufkrebs" beim Asiatischen Elefanten (*E. maximus*). In: EULENBERGER, K. & A. BERNHARD (Hrsg.): *16. Arbeitstagung der Zootierärzte im deutschsprachigen Raum*. Zoologischer Garten Leipzig, Leipzig, S. 207-209.
- LANCESTER, W.C., S.C. THOMSON & J.R. SPEAKMAN (1997): Wing temperature in flying bats measured by infrared thermography. *J. Therm. Biol.* 22, 109-116.
- LANCIA, R.A., J.D. NICHOLS & K.H. POLLOCK (1996): Estimating the number of animals in wildlife populations. In: BOOKHOUT, T.A. (Ed.): *Research and management techniques for wildlife and habitats*. Wildlife Society, Maryland, pp. 215-253.
- LANGMAN, V.A. (1983): Heat balance in the black rhinoceros (*Diceros bicornis*). *Nat. Geo. Res. Rep.* 21, 251-254.
- LANGMAN, V.A. & G.M.O. MALOIY (1989): Passive obligatory heterothermy of the giraffe. *J. Physiol.* 415, 89.
- LANGMAN, V.A., O.S. BAMFORD & G.M.O. MALOIY (1982): Respiration and metabolism in the giraffe. *Resp. Physiol.* 50, 141-152.

- LANGMAN, V.A., G.M.O. MALOIY, K. SCHMIDT-NIELSEN & R.C. SCHROTER (1979): Nasal heat exchange in the giraffe and other large mammals. *Resp. Physiol.* 37, 325-333.
- LEPPER, A.W.D., M.R. MEHARRY & P.M. QUITTERIDGE (1974): Measurement of infra-red radiation from tuberculin skin test sites in cattle. *Austral. Vet. J.* 50, 192-198.
- LESSITER, F. (1998): Thermal imaging pinpoints "hot" hoof concerns. *Am. Farriers J.* 24(4), 53-56.
- LIDDINGTON, M.I. & P.G. SHAKESPEARE (1996): Timing of the thermographic assessment of burns. *Burns* 22(1), 26-28.
- LIECHTI, F., B. BRUDERER & H. PAPROTH (1995): Quantification of nocturnal bird migration by moonwatching: comparison with radar and infrared observations. *J. Field Ornithol.* 66(4), 457-468.
- LOUW, G.N. (1993): *Physiological Animal Ecology*. Longman Scientific & Technical, Harlow.
- LOVE, T.J. (1980): Thermography as an indicator of blood perfusion. *Ann. NY Acad. Sci.* 335, 429-432.
- LOW, A.B. & A.G. REBELO (1998): *Vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland*. Department of Environmental Affairs and Tourism, Pretoria.
- LUNSTRA, D.D. & G.H. COULTER (1997): Relationship between scrotal infrared temperature patterns and natural-mating fertility in beef bulls. *J. Anim. Sci.* 75(3), 767-774.
- MARBLE, H.M. (1968): *Radiation from big game and background: A control study for infrared scanner census*. M.S. Thesis. Univ. of Montana, Missoula.
- MARR, C.M. (1992): Microwave thermography: a non-invasive technique for investigation of injury of the superficial digital flexor tendon in the horse. *Equine Vet. J.* 24(4), 269-273.
- MATERN, B. & G. KLÖPPEL (1995): Giraffe und Okapi. In: GÖLTHENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 284-299.
- MAYR, E. (2000): *Das ist Biologie: Die Wissenschaft des Lebens*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- McARTHUR, A.J. (1987): Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *J. Theor. Biol.* 126, 203-238.
- McCAFFERTY, D.J., J.B. MONCRIEFF, I.R. TAYLOR & G.F. BODDIE (1998): Radiative temperature and heat loss of the barn owl (*Tyto alba*) measured by infrared thermography. *J. Therm. Biol.* 23(5), 311-318.

- McCONAGHY, F.F., J.R.S. HALES, R.J. ROSE & D.R. HODGSON (1995): Selective brain cooling in the horse during exercise and environmental heat stress. *J. Appl. Physiol.* 79(6), 1849-1854.
- McNAB, B.F. (1974): Energetics of endotherms. *Ohio J. Sci.* 74, 370-380.
- McNAB, B.K. (1983): Energetics, body size, and the limits to endothermy. *J. Zool. Lond.* 199, 1-29.
- McNAB, B.K. (1988): Complications inherent in scaling basal metabolism rate in mammals. *Quart. Rev. Biol.* 63, 25-54.
- MERRIL, E.H. (1991): Thermal constraints on use of cover types and activity time of elk. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 29, 251-267.
- MITCHELL, G. (2000): Persönliche Mitteilung.
- MITCHELL, G. & S. HILSBURG (2000): Giraffe patches are thermal windows. *Nature*. (eingereicht).
- MOEN, A.N. (1968): Energy exchange of white-tailed deer in western Minnesota. *Ecology* 49, 676-682.
- MOGG, K.C. & C.C. POILITT (1992): Hoof and distal limb surface temperature in the normal pony under constant and changing ambient temperatures. *Equine Vet. J.* 24(2), 134-139.
- MOHLER, F.S. & J.E. HEATH (1988a): Comparison of IR thermography and thermocouple measurement of heat loss from rabbit pinna. *Am. J. Physiol.* 254, R389-395.
- MOHLER, F.S. & J.E. HEATH (1988b): Oscillating heat flow from the rabbit's pinna. *Am. J. Physiol.* 255, 464-469.
- MOORE, M.E. (1995): *Population size estimation and quality management techniques for a local population of white-tailed deer (Odocoileus virginianus)*. M.S. Thesis. Michigan State Univ., East Lansing.
- MORA-RORIGUEZ, R., J. GONZALEZ-ALONSO, P.R. BELOW & E.F. COLEY (1996): Plasma catecholamines and hyperglycaemia influence thermoregulation in man during prolonged exercise in the heat. *J. Physiol. (Cambridge)* 491(2), 529-540.
- MORRISON, P. (1960): Some interrelations between weight and hibernation function. *Bull. Mus. Comp. Zool., Harvard* 124, 76-91.
- NAUGLE, D.E. (1994): *Density, movements, and habitat use of white-tailed deer at Sand Lake National Wildlife Refuge, South Dakota*. M.S. Thesis. South Dakota State Univ., Brookings.
- NAUGLE, D.E., J.A. JENKS & B.J. KERNOHAN (1996): Use of thermal infrared sensing to estimate density of white-tailed deer. *Wildl. Soc. Bull.* 24(1), 37-43.

- NELSON, L. & M.E. FOWLER (1986): Rhinocerotidae. In: FOWLER, M.E. (Ed.): *Zoo and wildlife medicine. Second Edition*. Saunders, Philadelphia, pp. 934-938.
- NEUMANN, G. (1999): Persönliche Mitteilung.
- PALMER, S.E. (1981): Use of the portable infrared thermometer as a means of measuring limb surface temperature in the horse. *Am. J. Vet. Res.* 42, 105-108.
- PARKER, H.D. (1971): Infrared "eyes" for game management. *Colorado Outdoors* 20(6), 35-38.
- PARKER, H.D. (1972): *Airborne infrared detection of deer*. Ph.D. Thesis. Colo. State Univ., Fort Collins.
- PERGOLA, P.E., J.M. JOHNSON, D.J. KELLOGG Jr. & W.A. KOSIBA (1996): Control of skin blood flow by whole body and local skin cooling in exercising humans. *Am. J. Physiol.* 270(1/2), H208-H215.
- PETRY, H. (2000): Energiestoffwechsel. In: VON ENGELHARDT, W. & G. BREVES (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. Enke, Stuttgart, S. 435-445.
- PFITZER, S. (2000): Persönliche Mitteilung.
- PFLUMM, W. (1989): *Biologie der Säugetiere*. Parey, Berlin.
- PHILLIPS, P.K. (1992): *Regulation of surface temperature in mammals*. Ph.D. dissertation, Univ. of Chicago, Urbana-Champaign.
- PHILLIPS, P.K. & J.E. HEATH (1992): Heat exchange by the pinna of the African elephant (*Loxodonta africana*). *Comp. Biochem. Physiol. A* 101(4), 693-699.
- PHILLIPS, P.K. & J.E. HEATH (1995): Dependency of surface temperature regulation on body size in terrestrial mammals. *J. Therm. Biol.* 20(3), 281-289.
- PHILLIPS, P.K. & A.F. SANBORN (1994): An infrared, thermographic study of surface temperature in three ratites: ostrich, emu and double-wattled cassowary. *J. Therm. Biol.* 19(6), 423-430.
- POLLITT, C.C. & G.S. MOLYNEUX (1990): A scanning electron microscopical study of the dermal microcirculation of the equine foot. *Equine Vet. J.* 22, 79-87.
- PORTER, W.P. & D.M. GATES (1969): Thermodynamic equilibria of animals with the environment. *Ecol. Monogr.* 39, 227-244.
- PRINZIVALLI, R.A. (1992): Investigating the use of infrared detectors to count elephants in a forest environment. *Afri. J. Ecol.* 30(4), 346-348.
- PROSSER, C.L. & J.E. HEATH (1991): Temperature. In: PROSSER, C.L. (Ed.): *Environmental and Metabolic Animal Physiology*. Wiley-Liss, New York, pp. 109-165.

- PUROHIT, R.C. (1980): The diagnostic value of thermography in equine medicine. *Proceedings of the 38th Annual American Association of Equine Practitioners Convention* 38, 317-326.
- PUROHIT, R.C. & M.D. McCOY (1980): Thermography in the diagnosis of inflammatory processes in the horse. *Am. J. Vet. Res.* 41, 1167-1175.
- PUROHIT, R.C., M.D. McCOY & W.A. BERGFELD (1980): Thermographic diagnosis of Horner Syndrom in the horse. *Am. J. Vet. Res.* 41, 1180-1183.
- PUSCHMANN, W. (1989): *Zootierhaltung*. Harri Deutsch, Thun.
- RAMDOHR, S. (1997): Persönliche Mitteilung.
- RAMSAY, E.C., B. L. LASLEY & G.H. STABENFELD (1981): Monitoring the estrous cycle of the Asian elephant (*Elephas maximus*) using urinary estrogens. *Am. J. Vet. Res.* 42, 256-260.
- RIEMERSCHMID, G. & J.S. ELDER (1945): The absorptivity for solar radiation of different coloured hairy coats of cattle. *Onderstepoort J. Vet. Sci. Anim. Ind.* 20, 223-234.
- ROHICKI, E., H. PLONAIT & H.J. REINHARD (1973): Der Einfluß der unterschiedlichen Luftgeschwindigkeit bei mittlerer und hoher Umgebungstemperatur auf Haut- und Körpertemperatur, Atem- und Herzfrequenz bei Schweinen. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 80, 181 – 184.
- RÖHLINGER, P. (1981): Aufgabenstellung und erste Erfahrungen in der Prüfung der Anwendungsmöglichkeiten der IR-Meßtechnik in der Veterinärmedizin. *Wiss. Ber. Tech. Hoch. Leipzig*. 17, 107-110.
- RÖHLINGER, P. (1983): *Zur Indikation der Halbleiter- und Infrarotmeßtechnik bei der Ermittlung der Rektal- und Oberflächentemperaturen im Rahmen der klinischen Diagnostik in der Veterinärmedizin*. Habilitationsschrift, Fachbereich Veterinärmedizin, Univ. Leipzig.
- RÖHLINGER, P., C. GRUNOW, A. REICHMANN & M. ZIMMERHACKEL (1979): Voruntersuchungen zur Ermittlung der Anwendungsgebiete der Infrarotmeßtechnik in der Veterinärmedizin. *Mh. Vet.-Med.* 34, 287-291.
- RÖHLINGER, P., G. GRUNOW & D. BÖRNET (1980): Ergebnisse berührungsloser Messung der Oberflächentemperatur beim Schwein. *Archiv Exp. Vet. Leipzig* 34(5), 759-766.
- ROST, A. (1980a): 25 Jahre Deutsche Gesellschaft für Thermographie. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 11-13.
- ROST, A. (1980b): Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik - ein kurzer Leitfaden. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 27-38.

- ROST, A. (1980c): Gibt es eine Thermographie für den Zahnarzt? In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 185-187.
- ROST, D. (1997): Persönliche Mitteilung.
- RÜEDI, D. (1995): Elefanten. In: GÖLTHENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 156-189.
- RYAN, M.J. (1997): Sexual selection and mate choice. In: KREBS, J.R. & N.B. DAVIES (Eds.): *Behavioural ecology: An evolutionary approach*. Blackwell Science, Oxford, S. 179-202.
- ŠABEC, D. & P. LAZAR (1990): Erste Ergebnisse berührungsloser Temperaturmessungen mittels eines Infrarotthermometers am Sprunggelenk des Schweines mit Osteoarthritis tarsi deformans. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 97(1), 43-44.
- SABOL, B.M. & H.K. KEITH (1995): Technique using thermal infrared-imaging for estimating populations of grey bats. *J. Mammal.* 76(4), 1242-1248.
- SCHAEFER, A.L., S.D.M. JONES, A.C. MURRAY, A.P. SATHER & A.K.W. TONG (1989): Infrared thermography of pigs with known genotypes for stress susceptibility in relation to pork quality. *Can. J. Anim. Sci.* 69(2), 491-495.
- SCHMAUSER, H. (1980): Thermographie bei entzündlichen Augenerkrankungen. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 178-180.
- SCHMIDT, M.J. (1993): Breeding elephants in captivity. In: FOWLER, M.E. (Ed.): *Zoo and wild animal medicine: Current therapy 3*. Saunders, Philadelphia, pp. 445-448.
- SCHMIDT-NIELSEN, K. (1984): *Scaling: Why is animal size so important?* Cambridge University Press, Cambridge.
- SCHMIDT-NIELSEN, K., B. SCHMIDT-NIELSEN, S.A. JARUM & T.R. HOUPPT (1957): Body temperature of the camel and its relation to water economy. *Am. J. Physiol.* 188, 103-112.
- SCHOLANDER, P.F. (1958): *Countercurrent heat exchange - a principle in biology*. Institute of Zoophysiology Publication 44, Univ. of Oslo, Oslo.
- SCHOLANDER, P.F., R. HOCK, V. WALTERS & L. IRVING (1950a): Adaptation to cold in arctic and tropical mammals and birds in relation to body temperature, insulation, and basal metabolism. *Biol. Bull.* 99, 259-271.
- SCHOLANDER, P.F., R. HOCK, V. WALTERS, F. JOHNSON & L. IRVING (1950b): Heat regulation in some arctic and tropical mammals and birds. *Biol. Bull.* 99, 237-258.
- SCHOLANDER, P.F., V. WALTERS, R. HOCK & L. IRVING (1950c): Body insulation of some arctic and tropical mammals and birds. *Biol. Bull.* 99, 223-236.

- SCHÖNBERNER-FRANKEN, F. (1993): *Geschichte der Entwicklung der Thermographie und ihrer Verfahren und die Bedeutung heute für die Diagnostik und Therapie*. Med. Diss., Univ. Würzburg.
- SCHROTER, R.C., D. ROBERTSHAW & R. ZINE FILIALI (1989): Brain cooling and respiratory heat exchange in camels during rest and exercise. *Resp. Physiol.* 78, 95-105.
- SCHWAMM, E. (1980a): Thermoregulation und Hauttemperaturmessung. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 96-107.
- SCHWAMM, E. (1980b): Tumordiagnostik durch Hauttemperaturmessung. In: ROST, A. (Hrsg.): *Thermographie und Thermoregulationsdiagnostik*. Medizinisch-Literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, S. 108-113.
- SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.S. & J.M. STOOKEY (1997): The use of infrared thermography to assess inflammation associated with hot-iron and freeze branding in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 77(4), 577-583.
- SCHWARZENBERGER, F., R. FRANKE & R. GÖLTENBOTH (1993): Concentrations of faecal immunoreactive progestagen metabolites during oestrus cycle and pregnancy in the Black Rhinoceros (*Diceros bicornis michaeli*). *J. Reprod. Fertil.* 98, 285-291.
- SEEHERMAN, H.J. (1993): Imaging techniques. *Equine Vet. Data* 14(2), 30-31.
- SEIDEL, B. (1995): Antilopen. In: GÖLTENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 312-339.
- SESSLER, D.I. (1994): Thermoregulation and heat balance: General anesthesia. In: ZEISBERGER, E., E. SCHÖNBAUM & P. LOMAX (Eds.): *Thermal balance in health and disease: Recent basic research and clinical progress*. Birkhäuser, Basel, pp. 251-265.
- SHURAN, M. & R.A. NELSON (1991): Quantitation of energy expenditure by infrared thermography. *Am. J. Clin. Nutr.* 53(6), 1361-1367.
- SIKES, S.K. (1971): *The natural history of the African elephant*. Elsevier, New York.
- SILBERNAGEL, S. & A. DESPOPULUS (1991): *Taschenatlas der Physiologie*. Vierte Auflage. Thieme, Stuttgart
- SOUTHERN, H.N., J.S. WATSON & D. CHITTY (1946): Watching nocturnal animals by infra-red radiation. *J. Anim. Ecol.* 15(2), 198-202.
- SPEAKMAN, J.R. & S. WARD (1998): Infrared thermography: Principles and applications. *Zoology* 101(3), 224-232.
- SPRUYT, P., Y. GHAFIR, T. ART & P. LEKEUX (1995): Infrared thermography in the study of thermoregulation: Bibliographical study. *Ann. Méd. Vét.* 139(6), 413-418.

- STEPHAN, E. & A. GÖRLACH (1971): Oberflächentemperaturmessungen mit Infrarot-Thermogrammen in der Veterinärmedizin. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 78, 330-332.
- STEPHAN, E. & R. REDECKER (1970): Die Rolle der Haut bei der Thermoregulation von Haustieren. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 71, 628-631.
- STEWART, R.E. (1953): Absorption of solar radiation by the hair of cattle. *Agric. Eng.* 34, 235-238.
- STÖBER, M. (1990): Kennzeichen, Anamnese, Grundregeln der Untersuchungstechnik, Allgemeine Untersuchung. In: DIERKSEN, G., H.-D. GRÜNDER & M. STÖBER (Hrsg.): *ROSENBERGER: Klinische Untersuchung des Rindes*. Parey, Berlin, S. 75-141.
- STRAUSS, G. (1995): Einhufer. In: GÖLTHENBOTH, R. & H.-G. KLÖS (Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere*. Parey, Berlin, S. 189-200.
- STRAUSS, G. (1997): Persönliche Mitteilung.
- STRÖMBERG, B. (1973): Morphologic, thermographic and ^{133}Xe clearance studies on normal and diseased superficial digital flexor tendons in race horses. *Equine Vet. J.* 5, 156-161.
- STRÖMBERG, B. (1974): The use of thermography in equine orthopedics. *J. Am. Vet. Radiol. Soc.* 15, 94-97.
- STRÖMBERG, B. & I. NORBERG (1971): Infra-red emission and ^{133}Xe -disappearance rate studies in the horse. *Equine Vet. J.* 1, 1-7.
- SYKES, M. (1998): Hot flashes: Thermography is gaining popularity, allowing horsemen to detect and prevent injury in the early stages. *The Backstretch* 1998(5), 17-18.
- SZENTKUTI, L. & H.J. EHRLEIN (2000): Muskelphysiologie. In: VON ENGELHARDT, W. & G. BREVES (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. Enke, Stuttgart, S.110-135.
- TALUKDAR, A.H., M.L. CALHOUN & A.W. STINSON (1972): Specialized vascular structures in the skin of the horse. *Am. J. Vet. Res.* 33, 335-338.
- TANK, V., P. HASCHBERGER, H. DIETL & W. LUTZ (1992): Infrared optical game sensors – a development that aids in the detection of game in meadows and in the rescuing of game during spring mowing. *Z Jagdwiss* 38(4), 252-261.
- TAYLOR, C.R. (1966): The vascularity and possible thermoregulatory function of the horns in goats. *Physiol. Zool.* 39, 127-139.
- TAYLOR, C.R. (1969a): Metabolism, respiratory changes, and water balance of an antelope, the eland. *Am. J. Physiol.* 217, 317-320.
- TAYLOR, C.R. (1969b): The eland and the oryx. *Sci. Am.* 220, 88-95.

- TAYLOR, C.R. (1970a): Strategies of temperature regulation: Effect on evaporation in East African ungulates. *Am. J. Physiol.* 219, 1131-1135.
- TAYLOR, C.R. (1970b): Dehydration and heat: Effects on temperature regulation of East African ungulates. *Am. J. Physiol.* 219, 1136-1139.
- TAYLOR, C.R. & C.P. LYMAN (1972): Heat storage in running antelopes: Independence of brain and body temperature. *Am. J. Physiol.* 222, 114-117.
- TAYLOR, C.R. & V.J. ROWNTREE (1973): Temperature regulation and heat balance in running cheetahs: A strategy for sprinters? *Am. J. Physiol.* 224, 848-851.
- TAYLOR, C.R. & J.B. SALE (1969): Temperature regulation in the hyrax. *Comp. Biochem. Physiol.* 31, 903-907.
- TAYLOR, C.R., C.A. SPINAGE & C.P. LYMAN (1969): Water regulations of the waterbuck, an East African antelope. *Am. J. Physiol.* 217, 630-634.
- TAYLOR, C.R., K. SCHMIDT-NIELSEN & J.L. RAAB (1970). Scaling energetic cost of running to body size in mammals. *Am. J. Physiol.* 219, 1104-1107.
- TAYLOR, C.R., K. SCHMIDT-NIELSEN, R. DMI'EL & M. FEDAK (1971): Effect of hyperthermia on heat balance during running in the African hunting dog. *Am. J. Physiol.* 220, 823-827.
- THIAGARAJAN, M. & C.K. THOMAS (1992): Housing effects on crossbred cows in a hot-humid climate: Physiological responses. *Indian J. Anim. Sci.* 62 (11), 1077-1082.
- TÖPFER-PETERSEN, E. & C. AURICH (2000): Reproduktion beim männlichen Tier. In: VON ENGELHARDT, W. & G. BREVES (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. Enke, Stuttgart, S. 537-555.
- TRACY, C.R. (1977): Minimum size of mammalian homeotherms: Role of the thermal environment. *Science* 198, 1034-1035.
- TREGGAR, R.T. (1965): Hair density, wind speed, and heat loss in mammals. *J. Appl. Physiol.* 20, 796-801.
- TURNER, T.A. (1991): Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *The Veterinay Clinics of North America / Equine Practice* 7, 311-338.
- TURNER, T. (1993): Thermography in lameness diagnosis. *Equine Veterinary Data* 14(11), 206 - 207.
- TURNER, T.A., J.F. FESSIER, M. LAMP, J.A. PEARCE & L.A. GEDDES (1983): Thermographic evaluation of horses with podotrochlosis. *Am. J. Vet. Res.* 44(4), 535-539.
- UEMATSU, S. (1976): *Medical thermography, theory, and clinical application*. Brentwood Publishing Corp., Los Angeles.

- UNGEMACH, F.R. (1994): Anhang 1: Umrechnung von Humandosierungen für Tiere. In: LÖSCHER, W., F.R. UNGEMACH & R. KROKER. *Grundlagen der Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren*. Zweite Auflage. Parey, Berlin, S. 400-401.
- VADEN, M.F., R.C. PUROHIT, M.D. McCOY & J.T. VAUGHAN (1980): Thermography: A technique for subclinical diagnosis of osteoarthritis. *Am. J. Vet. Res.* 41, 1175-1180.
- VON SCHWEINITZ, D.G. (1998): Thermographic evidence for the effectiveness of acupuncture in equine neuromuscular disease. *Acupuncture in Medicine* 16(1), 14-17.
- VON SCHWEINITZ, D.G. (1999): Thermographic diagnostics in equine back pain. *The Veterinary Clinics of North America / Equine Practice* 15(1), 161-177.
- WALDSMITH, J.K. (1992): Real time thermography: a diagnostic tool for the equine practitioner. *Proceedings of the 38th Annual American Association of Equine Practitioners Convention* Pp. 455-467.
- WALDSMITH, J.K. & J.I. OITMANN (1994): Thermography: sub-clinical inflammation, diagnosis, rehabilitation and athletic evaluation. *Journal of Equine Veterinary Science* 14(1), 8 -10.
- WALLACE, J.D. (1974): Thermography in bone disease. *J. Am. Med. Assoc.* 230, 447-449.
- WALSBERG, G.E. (1983): Coat color and solar heat gain in animals. *Bioscience* 33, 88-91.
- WALSBERG, G.E., G.S. CAMPBELL & J.R. KING (1978): Animal coat color and radiative heat gain: A re-evaluation. *J. Comp. Physiol.* 126, 211-222.
- WARD, S., J.M.V. RAYNER, U. MÖLLER, W. NACHTIGALL & J.R. SPEAKMAN (1999): Heat transfer from starlings (*Sturnus vulgaris*) during flight. *J. Exp. Biol.* 202(12), 1589-1602.
- WATSMOUGH, D.J., P.M. FOWLER & R. OLIVER (1970): The thermal scanning of a curved isothermal surface: Implication for clinical thermography. *Physics Med. Biol. - Boston* 15, 1-8.
- WEBB, P.I., J.R. SPEAKMAN & P.A. RACEY (1993): The implications of small reductions in body temperature of radiant and convective heat loss in resting endothermic brown long-eared bats (*Plecotus auritus*). *J. Therm. Biol.* 18, 131-135.
- WEBBON, P.M. (1978): Limb skin thermography in racehorses. *Equine Vet. J.* 10(3), 180-184.
- WEILER, H. (1997a): *Sektionsbericht zur Giraffe "Nanyuki" S 1150/97*. Freie Univ. Berlin, Institut für Veterinärpathologie, Berlin.

- WEILER, H. (1997b): *Sektionsbericht zum Flußpferd "Nante" S 2087/97*. Freie Univ. Berlin, Institut für Veterinärpathologie, Berlin.
- WHITTOW, G.C. (1962): The significance of the extremities of the ox (*Bos taurus*) in thermoregulation. *J. Agric. Sci.* 58, 109-120.
- WIELANDT, R. (1996): Persönliche Mitteilung.
- WIGGERS, E.P. & D.R. BECKERMAN (1993): Use of thermal infrared sensing to survey white-tailed deer populations. *Wildl. Soc. Bull.* 21, 263-268.
- WILLIAMS, B.A. & J.E. HEATH (1970): Responses to pre-optic heating and cooling in a hibernator (*Citellus tridecemlineatus*). *Am. J. Physiol.* 218, 1654-1660.
- WILTON, M.L., D.L. GARNER & J.E. INGLIS (1994): The use of infrared trail monitors to study moose movement patterns. *Alces* 30, 153-157.
- WITTSTATT & HENSCHKE (1997): *Untersuchungsbefund FB 91 – 95709/Z 486.97/V 1256.97*. Berliner Betrieb für Zentrale Gesundheitliche Aufgaben (BBGes) – Institut für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen (ILAT), Berlin.
- WRIGHT, P.G. (1984): Why do elephants flap their ears? *South Afr. J. Zool.* 19, 266-269.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. K. Eulenberger, Cheftierarzt am Zoologischen Garten Leipzig und Professor an der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig, gilt mein herausragender Dank dafür, daß er mich mit der Idee für diese Untersuchungen, seiner Anregung, seinem Rat und Beistand sowie nicht zuletzt mit seiner Begeisterung zu diesen teilweise weltweit erstmalig durchgeführten Arbeiten ermutigt hat.

Die meisten Untersuchungen wurden an den Zoologischen Gärten von Berlin und Leipzig durchgeführt. Daher möchte ich den Zoodirektoren von Berlin, Herrn Prof. Dr. Dr.h.c.mult. H.-G. Klös, Direktor i.R. und Herrn Dr. H. und Leipzig, Herrn Dipl. Biol. P. Müller meinen besonderen Dank aussprechen.

Durch die Leihgabe von Infrarot-Kameras, ihren technisch fachlichen Rat und ihre persönliche Hilfe haben mich
Herr Zahorszki von der Firma ITEMA GmbH (Infrarot-Thermografie, Engineering, Meßtechnik & Automatisierung),
Herr Lühr und Frau Schlegel der Firma MUTZ (Mobiles Umwelttechnik Zentrum) und
Herr Thiesbrummel, seinerzeit noch bei der Firma AGEMA, sehr wesentlich unterstützt.

Frau P. West, University of Minnesota, Minneapolis und
Herr Dr. M. Borner, Frankfurter Zoologische Gesellschaft und Regional Representative, FZS East African Office, Serengeti National Park,
haben mir logistisch und durch finanzielle Unterstützung die Untersuchungen im Serengeti Nationalpark und in der Ngorongoro Crater Conservation Area in Tansania ermöglicht.

Herr Dr. I. Espie und Herr A. Matthee haben mir die Arbeiten in Südafrika im National Zoological Garden Pretoria sowie im Lichtenburg Game Breeding Centre möglich gemacht.

Mein besonderer Dank für ihre Hilfe gilt auch vielen Tierärzten, Kuratoren und Tierpflegern der Zoologischen Gärten bzw. Tierparks in Berlin (Zoologischer Garten und Tierpark Friedrichsfelde), Basel, Chester, Dvur Králové, Erfurt, Hodenhagen, Leipzig, Marwell/Winchester, Münster, Nürnberg, Osnabrück, Pretoria, Rotterdam und Zürich.

Besonders hervorheben möchte ich hierbei den Dank an viele Tierpfleger, die mir mit ihrem großen Interesse, ihrer Einsatzbereitschaft und Geduld sowie ihrem liebevoll motivierenden Einfluß auf die Tiere die Untersuchungen möglich gemacht haben.

Darüber hinaus haben mich viele hier ungenannte Freunde und Bekannte sowie natürlich auch meine Eltern durch Rat und Tat sowie finanziell unterstützt.

Dies alles hat mir große Freude bereitet und erfüllt mich mit aufrichtigem Dank .

Thermoregulation bei Tieren - Literaturübersicht

Abb. 1:	Wärmetransfer zwischen einem Tier und seiner Umgebung.....	10
Abb. 2:	Ausdehnung von Körperschale und Körperkern beim Menschen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur.....	14
Abb. 3:	Energieumsatz eines homoiothermen und eines poikilothermen Tieres in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur	15
Abb. 4:	Thermoregulation: Thermische Fenster beim See-Elefanten	16

Tiere, Material und Methoden

Abb. 5:	Eingesetzte Infrarot-Kamera Modelle der Firma AGEMA.....	26
Abb. 6:	Schema der Übersichts-Meßpunkte für die Infrarot-Thermographie	27
Abb. 7:	Schema der Vermessungspunkte für die Detailuntersuchungen bei der Infrarot-Thermographie	28
Abb. 8:	Schema eines Elefantenfußes mit Meßpunkten für die Infrarot- Thermographie.....	28
Abb. 9:	Meßwertspanne kleiner als Referenzskala	30
Abb. 10:	Meßwertspanne größer als Referenzskala	30

Technische Fehlerquellen

Abb. 11:	Gitterstäbe: Großer Kamera-Abstand.....	31
Abb. 12:	Gitterstäbe: Kleiner Kamera-Abstand	31
Abb. 13:	Tier steht auf Fußboden-Heizung.....	31
Abb. 14:	Folge der Heiz-Einwirkung am Unterbauch.....	31
Abb. 15:	Temperaturbereich nicht ausgeglichen.....	31
Abb. 16:	Wie Abb. 15: Temperaturbereich ausgeglichen	31

Biologische Fehlerquellen

Abb. 17:	Tier ist am Bauch / Bein feucht.....	32
Abb. 18:	Tier nicht / voll / etwas adaptiert an die Umgebungstemperatur.....	32
Abb. 19:	Tier vor Beginn der Bewegung	32
Abb. 20:	Tier nach 40 Minuten intensiven Trabens	32

Untersuchungen zur allgemeinen und pathologischen Thermoregulation bei Zoo- und Wildtieren mittels Infrarot-Thermographie**Elefanten**

Abb. 21-24:	Thermoregulation bei Elefanten	
Abb. 21:	Afrikanischer Elefant.....	33
Abb. 22:	Asiatische Elefanten	33
Abb. 23:	Afrikanischer Elefant - Kopf.....	34
Abb. 24:	Asiatischer Elefant - Kopf	34
Abb. 25-31:	Wärmestau bei Asiatischen Elefanten	34
Abb. 32:	Thermoregulation bei Sonneneinstrahlung.....	36
Abb. 33-36:	Auswirkung von Stress auf die Thermoregulation	36

Pferdeartige	Seite
Abb. 37-39: Thermoregulation bei Pferden	
Abb. 37: Schwarzwälder Kaltblut	37
Abb. 38: Haflinger	37
Abb. 39: Przewalskipferd	37
Abb. 40-43: Thermoregulation bei Zebras	
Abb. 40: Steppenzebra	38
Abb. 41: Bergzebra	38
Abb. 42: Grevy-Zebra	38
 Tapire und Nashörner	
Abb. 43-46: Thermoregulation bei Tapiren und Nashörnern	
Abb. 43: Flachlandtapir	39
Abb. 44: Breitmaulnashorn	39
Abb. 45: Spitzmaulnashorn	39
Abb. 46: Panzernashorn	39
Abb. 47-50: Thermoregulation bei neugeborenen und juvenilen Nashörnern	
Abb. 47: Kalb – 1. Lebenstag	40
Abb. 48: Kalb – 5. Lebenstag	40
Abb. 49: Kalb – 4. Lebenswoche	40
Abb. 50: Kalb – 10. Lebenswoche	40
Abb. 51-53: Thermoregulation in der Paarungszeit	
Abb. 51-52: Paarung bei Spitzmaulnashörnern	41
Abb. 53: Paarungsgemeinschaft bei Breitmaulnashörnern	41
 Rinder	
Abb. 54-56: Thermoregulation bei Rindern	
Abb. 54: Prärie-Bison	42
Abb. 55: Wisente	42
Abb. 56: Kaffernbüffel	42
 Antilopen	
Abb. 57-60: Thermoregulation bei Antilopen	
Abb. 57: Elenantilope	43
Abb. 58: Säbelantilope	43
Abb. 59: Südafrikanische Oryxantilopen	43
Abb. 60: Defassa-Wasserböcke	44
 Giraffen	
Abb. 61-62: Thermoregulation bei Giraffen	
Abb. 61: Okapi	44
Abb. 62: Giraffen	44
 Kamele	
Abb. 63-67: Thermoregulation bei Kamelen	
Abb. 63: Trampeltier	45
Abb. 64: Dromedare	45
Abb. 65: Vikunja	45
Abb. 66: Guanakos	46
Abb. 67: Lamas	46

Hirsche	Seite
Abb. 68-77: Thermoregulation bei Hirschen	
Abb. 68: Chinesische Muntjaks.....	46
Abb. 69: Damhirsche.....	47
Abb. 70: Davidshirsch.....	47
Abb. 71: Prinz-Alfred-Hirsch.....	47
Abb. 72: Sambar Hirsch.....	48
Abb. 73: Barasinghahirsche.....	48
Abb. 74: Sikahirsch.....	48
Abb. 75: Pudus.....	49
Abb. 76: Rene.....	49
Abb. 77: Ren - altes Tier.....	49
 Bären	
Abb. 78-83: Thermoregulation bei Bären	
Abb. 78: Braunbären.....	50
Abb. 79: Kragenbär.....	50
Abb. 80: Eisbär.....	50
Abb. 81: Lippenbär.....	51
Abb. 82: Malaienbär.....	51
Abb. 83: Brillenbär.....	51
 Katzen- und Hundartige	
Abb. 84-88: Thermoregulation bei Katzen- und Hundartigen	
Abb. 84-85: Löwen.....	52
Abb. 86: Tiger in Höhle.....	52
Abb. 87: Tiger.....	52
Abb. 88: „Weiße“ Wölfe.....	52
 Primaten	
Abb. 89-91: Thermoregulation bei Primaten	
Abb. 89: Adulter Mantelpavian.....	53
Abb. 90: Subadulter Mantelpavian.....	53
Abb. 91: Rotgesichtsmakak.....	53
 Vögel	
Abb. 92-100: Thermoregulation bei Vögeln	
Abb. 92: Strauß.....	54
Abb. 93: Weißstorch.....	54
Abb. 94: Mandschurenkraniche.....	54
Abb. 95: Rote Flamingos.....	55
Abb. 96: Stockenten.....	55
Abb. 97: Humboldtpinguine.....	55
Abb. 98: Königspinguine.....	56
Abb. 99: Felsenpinguine.....	56
Abb. 100: Brillenpinguine.....	56

Trächtigkeitsuntersuchungen mittels Infrarot-Thermographie

Seite

Spitzmaulnashorn

Trächtigkeitsverlauf und Puerperium bei einem Spitzmaulnashorn im Zoo Berlin

Abb. 101:	Trächtigkeit im 7. Monat	75
Abb. 102-103:	Trächtigkeit im 10. Monat	75
Abb. 104-105:	Trächtigkeit im 11. Monat	76
Abb. 106-107:	Trächtigkeit im 13. Monat	76
Abb. 108-109:	Trächtigkeit im 13. Monat	77
Abb. 110-111:	Trächtigkeit Ende 14. Monat	77
Abb. 112:	Neugeborenes mit Mutter	78
Abb. 113-116:	Frühpuerperium	78
Abb. 117-118:	Puerperium 4 Wochen post partum	79
Abb. 119-120:	Puerperium 10 Wochen post partum	79

Verlauf von 2 Trächtigkeiten nacheinander bei gleichem Individuum im Zoo Leipzig

Abb. 121-122:	1. Trächtigkeit Ende 13. Monat	80
Abb. 123-124:	1. Trächtigkeit Ende 13. Monat	80
Abb. 125-126:	2. Trächtigkeit im 10. Monat	81
Abb. 127-128:	2. Trächtigkeit im 11. Monat	81
Abb. 129-130:	Trächtigkeit im 14. Monat	82
Abb. 131:	Neugeborenes am 10. Lebenstag	82

Einzeluntersuchungen

Abb. 132-133:	Trächtigkeit Mitte 14. Monat	83
Abb. 134-135:	Trächtigkeit Mitte 11. Monat	83

Breitmaulnashorn

Trächtigkeitsverlauf bei Tier 1

Abb. 136-137:	Trächtigkeit Ende 10. Monat	84
Abb. 138-139:	Trächtigkeit Ende 15. Monat	84

Trächtigkeitsverlauf bei Tier 2

Abb. 140-141:	Trächtigkeit Mitte 8. Monat	85
Abb. 142-143:	Trächtigkeit Mitte 13. Monat	85

Panzernashorn

Abb. 144-145:	Trächtigkeit Mitte 10. Monat	86
---------------	------------------------------------	----

Asiatischer Elefant

Trächtigkeitsdiagnostik bei Elefanten und Verlauf bei Tier 1

Abb. 146-147:	Trächtigkeitsfeld und Milchdrüse bei trächtiger Elefantin	86
Abb. 148-149:	Trächtigkeit im 20. Monat	87
Abb. 150-151:	Trächtigkeit im 22. Monat	87

Trächtigkeitsverlauf Tier 2

Abb. 152-153:	Nichtträchtiges Tier	88
Abb. 154-155:	Trächtigkeit im 19. Monat	88

	Seite
Einzeluntersuchungen	
Abb. 156-157: Nichtträchtiges Vergleichstier.....	89
Abb. 158-159: Trächtigkeit im 17. Monat.....	89
Abb. 160-161: Trächtigkeit im 15. Monat.....	90
Abb. 162-163: Trächtigkeit im 9. Monat.....	90
 Giraffe	
Trächtigkeitsverlauf und Puerperium bei einer Giraffe im Zoo Leipzig	
Abb. 164-165: Puerperium 2 Monate nach dem Kalben am 6.7.97	91
Abb. 166-167: Puerperium abgeschlossen	91
Abb. 168-169: Männliches Vergleichstier.....	92
Abb. 170-171: Trächtigkeit Ende 4. Monat.....	92
Abb. 172a-173b: Trächtigkeit Beginn 10. Monat.....	93
Abb. 174-175: Trächtigkeit Ende 12. Monat.....	93
Abb. 176-178: Trächtigkeit im 15. Monat.....	94
Abb. 179-181: Mutter im Puerperium und Kalb in 4. Lebenswoche	94
 Einzeluntersuchungen	
Abb. 182-183: Trächtigkeit im 6. Monat.....	95
Abb. 184-185: Trächtigkeit Ende 13. Monat.....	95
Abb. 186-187: Trächtigkeit Mitte 10. Monat	96
Abb. 188-189: Trächtigkeit Ende 6. Monat.....	96
Abb. 190-191: Trächtigkeit Ende 5. Monat.....	97
 Grevy-Zebra	
Einzeluntersuchung	
Abb. 192-193: Trächtigkeit im 11. Monat.....	97
 Verlaufsuntersuchung	
Abb. 194-195: Trächtigkeit im 12. Monat.....	98
Abb. 196-197: Trächtigkeit im 13. Monat.....	98
 Hirscheber	
Verlaufsuntersuchung	
Abb. 198: Trächtigkeit Ende 4. Monat.....	99
Abb. 199: Euter in Anbildung	99
Abb. 200: Trächtigkeit im 5. Monat.....	99
Abb. 201: Jungtier im Alter von 5 Wochen	99
 Zwergesel	
Abb. 202: Trächtigkeit ca. 10. Monat	100
 Zwergflußpferd	
Abb. 203: Trächtigkeit im 6. Monat.....	100
 Südafrikanische Oryxantilope	
Abb. 204: Trächtigkeit ca. 6. Monat	100

Entzündungsdiagnostik mittels Infrarot-Thermographie

Seite

A) Gelenkerkrankungen

Abb. 205-206: Veränderungen zahlreicher Gelenke.....	111
Abb. 207-208: Polyarthrose	111
Abb. 209-210: Entzündlicher Prozeß an Oberschenkel und Vorderfuß	112
Abb. 211-213: Verdacht auf Arthritis der Sprunggelenke	112
Abb. 214-215: Pathologische Gelenkveränderungen.....	113

B) Traumatologie

Abb. 216: Metatarsal-Frakturen.....	113
Abb. 217-221: Traumatisierung mehrerer Gelenke	114
Abb. 222-223: Pathologische Veränderung im rechten Schultergelenk	114
Abb. 224: Traumatische Veränderung der rechten Handgelenksregion.....	115
Abb. 225-227: Verdacht auf Muskelfaserriß	115

C) Nagelbettentzündungen

Abb. 228-229: „Normalbefund“ der Füße	116
Abb. 230-231: Nagelbettentzündung - Pododermatitis septica chronica („Hufkrebs“)..	116
Abb. 232-234: Fortschreitende Nagelbettentzündung	117
Abb. 235: Ausbreitung der Nagelbettentzündung	117
Abb. 236: Abheilende Nagelbettentzündung	117
Abb. 237: Nagelbettentzündung	118
Abb. 238: Vereisung eines Fußnagels	118
Abb. 239: Abgeheilte Abszeß.....	118

D) Erkrankungen mit Hautbeteiligung

Abb. 240: Großflächige Hautabschürfung.....	119
Abb. 241-242: Lokale Hautabschürfungen	119
Abb. 243-246: Verdacht auf narbige Verwachsungen	120
Abb. 247-248: Ohrabszeß	120

E) Infektionskrankheiten

Abb. 249-258: Verdacht auf Herpes-Virus-Infektion	121
Abb. 249: Effloreszenzen an Bauch und Beinen	121
Abb. 250: Hautveränderungen am Rücken.....	121
Abb. 251: Kopf und Rücken	121
Abb. 252: Rücken und Beckenregion	121
Abb. 253: Kopf: Augen, Ohren und Oberkiefer	121
Abb. 254: Kopf: Nase, Ober- und Unterkiefer	121
Abb. 255: Rücken im Detail	121
Abb. 256: Bauch seitlich im Detail.....	121
Abb. 257: Hinterbein	122
Abb. 258: Vorderbein und Unterkieferregion.....	122
Abb. 259-261: Verdacht auf Herpes-Virus-Infektion	122
Abb. 259: Kopf des liegenden Tieres	122
Abb. 260: Rücken des liegenden Tieres	122
Abb. 261: Liegendes Tier von schräg von vorn.....	122

	Seite
F) Technopathien	
Abb. 262: Entzündung in der Hornwachstumszone	123
Abb. 263: Hornspalt.....	123
Abb. 264: Entzündung verstärkt	123
Abb. 265: Regenerationsprozeß.....	123
Abb. 266-267: Verletzung am Stoßzahnansatz	124
Geschlechtsapparat	
Abb. 268/270: Vaginalschlauch- und Vaginalödem	124
 <u>Infrarot-Thermographie in der Wildtierforschung und Wildtier- medizin: Erste Erfahrungen</u>	
Thermoregulation: Forschung an Löwen der Serengeti	
Abb. 271: Löwenpaar	138
Abb. 272: Löwe beriecht Genital der Löwin.....	138
Abb. 273: Löwen bei der Paarung	138
Abb. 274: Löwenpaar gleich nach Paarung.....	138
Trächtigkeitsuntersuchungen bei „wilden“ Nashörnern	
Abb. 275: Breitmaulnashorn ca. im 12. Monat trächtig	140
Abb. 276: Breitmaulnashorn ca. im 17. Monat trächtig	140
Abb. 277: Breitmaulnashörner in der Morgendämmerung bei ca. 20°C: Beide vorderen Tiere trächtig, hinteres juvenil	140
Entzündungsdiagnostik bei Wildtieren	
Abb. 278: Steppenzebra im Ngorongoro Krater: Tier lahmt hinten links.....	142
Abb. 279: Gleiches Zebra wie in Abb. 278 mit anderer Beinstellung	142
Abb. 280: Gleiches Zebra wie auf den Infrarot-Bildern: Schwellung des Fesselgelenks der linken Hinterextremität	142

Anhang 2

Liste der untersuchten Tierarten

Säugetiere

Marsupialia (Beuteltiere)

Ordnung: Zehenbeutler (Phalangerioidea)

Familie: Känguruhs (Macropodidae)

- Rotes Riesenkänguruh *Megaleia rufa*
- Westliches Graues Riesenkänguruh *Macropus fuliginosus*
- Flinkwallaby *Macropus agilis*
- Parmawallaby *Macropus parma*

Choriata (Höhere Säugetiere)

Ordnung: Herrentiere (Primates)

Familie: Kapuzineraffen (Cebidae)

- Weißkopfsaki *Pithecia pithecia*

Familie: Hundsaffen (Ceropithecidae)

- Mantelpavian *Papio hamadryas*
- Gelber Pavian *Papio cynocephalus*
- Rotgesichtsmakak *Macaca fuscata*

Familie: Menschenaffen (Pongidae)

- Orang-Utan *Pongo pygmaeus*
- Flachlandgorilla *Gorilla gorilla gorilla*
- Chimpanse *Pan troglodytes*
- Bonobo *Pan paniscus*

Familie: Menschen (Hominidae)

- Mensch *Homo sapiens*

Ordnung: Zahnarme (Edentata)

Familie: Ameisenbären (Myrmecophagidae)

- Große Ameisenbär *Myrmecophaga tridactyla*

Ordnung: Nagetiere (Rodentia)

Familie: Mäuse (Muridae)

- Hausmaus *Mus musculus*

Familie: Biberratten (Myocastoridae)

- Sumpfbiber (Nutria) *Myocastor copyus*

Ordnung: Wale (Cetacea)

Familie: Delphine (Delphinidae)

- Großer Tümmler *Tursiops truncatus*

Ordnung: Reißtiere (Carnivora)

Familie: Großbären (Ursidae)

- Braunbär *Ursus arctos*
- Kragenbär *Ursus thibetanus*
- Eisbär *Ursus maritimus*
- Lippenbär *Melursus ursinus*
- Malaienbär *Melarctos malayanus*
- Brillenbär *Tremarctos ornatus*

Familie: Katzen (Felidae)

- Leopard *Panthera pardus*
- Tiger *Panthera tigris*
- Löwe *Panthera leo*
- Gepard *Acinonyx jubatus*

- Familie: Hunde (Canidae)
 - Wolf *Canis lupus*
- Familie: Ohrenrobber (Otariidae)
 - Kalifornischer Seelöwe *Zalophus californianus californianus*
 - Südafrikanischer Seebär *Arctocephalus pusillus pusillus*
- Familie: Hundsrobber (Phocidae)
 - Seehund *Phoca vitulina*
 - Südlicher See-Elefant *Mirounga leonina*
- Ordnung: Rüsseltiere (Proboscidae)
 - Familie: Elefanten (Elephantidae)
 - Afrikanischer Elefant *Loxodonta africana*
 - Asiatischer Elefant *Elephas maximus*
- Ordnung: Unpaarhufer (Perissodactyla)
 - Familie: Einhufer (Equidae)
 - Haflinger *Equus przewalski f. caballus*
 - Schwarzwälder Kaltblut *Equus przewalski f. caballus*
 - Shire Horse *Equus przewalski f. caballus*
 - Przewalskipferd *Equus przewalski*
 - Somali Wildesel *Equus asinus somalicus*
 - Zwergesel *Equus asinus f. asinus*
 - Böhm Steppenzebra *Equus burchelli böhmi*
 - Chapman Steppenzebra *Equus burchelli antiquorum*
 - Bergzebra *Equus zebra*
 - Grevy-Zebra *Equus grevy*
 - Familie: Tapire (Tapiridae)
 - Flachlandtapir *Tapirus terrestris*
 - Schabrackentapir *Tapirus indicus*
 - Familie: Nashörner (Rhinocerotidae)
 - Spitzmaulnashorn *Diceros bicornis*
 - Breitmaulnashorn *Ceratotherium simum*
 - Panzernashorn *Rhinoceros unicornis*
- Ordnung: Paarhufer (Artiodactyla)
 - Familie: Schweine (Suidae)
 - Hausschwein *Sus scrofa f. domestica*
 - Pinselohrschwein *Potamochoerus larvatus pictus*
 - Warzenschwein *Phacochoerus africanus*
 - Bartschwein *Sus barbatus*
 - Hirscheber *Babirusa babirusa*
 - Familie: Pekarier (Tayassuidae)
 - Halsbandpekari *Tayassu tajacu*
 - Familie: Flußpferde (Hippopotamidae)
 - Flußpferd *Hippopotamus amphibius*
 - Zwergflußpferd *Choeropsis liberiensis*
 - Familie: Kamele (Camelidae)
 - Trampeltier *Camelus ferus*
 - Dromedar *Camelus dromedarius*
 - Vicuña *Lama vicugna*
 - Guanako *Lama guanicoe*
 - Lama *Lama guanicoe glama*
 - Alpaka *Lama guanicoe facos*

Familie: Hirsche (Cervidae)

- Moschustier *Moschus moschiferus*
- Chinesischer Muntjak *Muntiacus muntiacus reevesi*
- Damhirsch *Dama dama*
- Davidshirsch *Elaphurus davidianus*
- Prinz-Alfred-Hirsch *Cervus mariannus alfredi*
- Sambar Hirsch *Cervus unicolor*
- Barasinghahirsch *Cervus duvauceli*
- Sikahirsch *Cervus nippon*
- Axischirsch *Axis porcinus*
- Graumazama *Mazama gouazoubira*
- Südpudu *Pudu pudu*
- Ren *Rangifer tarandus*

Familie: Giraffen (Giraffidae)

- Netzgiraffe *Giraffa camelopardalis reticulata*
- Rothschildgiraffe *Giraffa camelopardalis rothschildi*
- Okapi *Okapia johnsoni*

Familie: Horntiere (Bovidae)

Unterfamilie: Gazellenartige (Gazellinae)

- Damagazelle *Gazella dama*
- Kropfgazelle *Gazella subgutturosa*

Unterfamilie: Pferdeböcke (Hippotraginae)

- Südafrikanische Oryxantilope *Oryx gazella gazella*
- Säbelantilope *Oryx dammah*
- Mendesantilope *Addax nasomaculatus*

Unterfamilie: Ried- und Wasserböcke (Reduncinae)

- Defassa Wasserbock *Kobus ellipsiprymnus defassa*
- Litchi Wasserbock *Kobus leche*
- Frau Grey's Wasserbock *Kobus megaceros*

Unterfamilie: Kuhantilopen (Alcelaphinae)

- Wießbartgnu *Connochoetes taurinus*

Unterfamilie: Waldböcke (Tragelaphinae)

- Großer Kudu *Tragelaphus strepsiceros*
- Elenantilope *Tragelaphus oryx*
- Bongo *Tragelaphus euryceros*
- Sitatunga *Tragelaphus spekii*

Unterfamilie: Gemsenartige (Rupicaprinae)

- Schneesiege *Oreamnos americanus*

Unterfamilie: Waldzeigenantilopen (Nemorhaedinae)

- Japanischer Seralu *Capricornis crispus*

Unterfamilie: Böcke (Caprovinae)

- Hausziege *Capra aegagrus f. hircus*
- Himalaya Thar *Hemitragus jemlahicus jemlahicus*

Unterfamilie: Rinder (Bovinae)

- Präriebison *Bison bison bison*
- Wisent *Bison bonasus*
- Gaur *Bison gaurus*
- Kaffernbüffel *Syncerus caffer caffer*
- Rotbüffel *Syncerus caffer nanus*
- Zebu *Bos primigenus f. taurinus*
- Watussi *Bos primigenus f. taurinus*

Vögel

Ordnung: Laufvögel (Struthioniformes)

- Südafrikanischer Blauhalsstrauß *Struthio camelus australis*
- Emu *Dromaius novaehollandiae*

Ordnung: Pinguine (Sphenisciformes)

- Humboldtpinguin *Spheniscus humboldti*
- Brillenpinguin *Spheniscus demersus*
- Felsenpinguin *Eudyptes crestatus*
- Königspinguin *Aptenodytes patagonica*

Ordnung: Ruderfüßer (Pelecaniformes)

- Familie: Kormorane (Phalacrocoracidae)
- Kormoran *Phalacrocorax carbo*

Ordnung: Stelzvögel (Ciconiiformes)

- Familie: Reiher (Ardeidae)
- Kuhreiher *Ardeola ibis*
- Familie: Störche (Ciconiidae)
- Weißstorch *Ciconia ciconia*
- Afrikanischer Marabu *Leptoptilos crumeniferus*

Ordnung: Flamingos (Phoenicopteriformes)

- Roter Flamingo *Phoenicopterus ruber ruber*

Ordnung: Gänsevögel (Anseriformes)

- Familie: Wehrvögel (Anhimidae)
- Halsband-Tschaja *Chauna torquata*
- Familie: Entenvögel (Anatidae)
- Trauerschwan *Cygnus atratus*
- Rothalsgans *Branta ruficollis*
- Stockente *Anser platyrhynchos*

Ordnung: Greifvögel (Falconiformes)

- Gänsegeier *Gyps fulvus*

Ordnung: Hühnervögel (Galliformes)

- Familie: Eigentliche Fasane (Phasianidae)
- Frankolinwachteln *Perdica spec.*

Ordnung: Kranichvögel (Gruiformes)

- Familie: Kraniche (Gruidae)
- Mandschurenkranich *Grus japonensis*
- Kronenkranich *Balearica pavonina*

Ordnung: Hopfartige (Upupiformes)

- Familie: Hornraben (Bucconidae)
- Kaffern Hornrabe *Bucorvus cafer*

Ordnung: Sperlingsvögel (Passeriformes)

- Familie: Rabenvögel (Corvidae)
- Nebelkrähe *Corvus corax cornix*
- Familie: Stare (Sturnidae)
- Rotschnabelmadenhackerstar *Buphagus erythrorhynchus*

Reptilien

Ordnung: Schildkröten (Testudines)

Familie: Landschildkröten (Testudinidae)

- Maurische Landschildkröte *Testudo graeca*

- Galapagos Riesenschildkröte *Geochelone nigra*

Ordnung: Krokodile (Crocodylia)

Familie: Alligatoren (Alligatoridae)

- Hechtaligator *Alligator mississippiensis*

Ordnung: Schuppenkriechtiere (Squamata)

Familie: Nattern (Colubridae)

- Kornnatter *Elaphe guttata*

- Afrikanische Eierschlange *Dasypeltis scabra*

Anhang 3

Vor- und Nachteile der Infrarot-Thermographie

Vorteile:

- Messungen einfach durchzuführen
- Berührungsloses Messen
- Keine Narkose oder Sedation erforderlich
- Meist unbeeinflusstes Verhalten der Tiere bei den Messungen
- Massenuntersuchungen möglich
- Sofortdiagnose bzw. Verdachtsdiagnose möglich, manchmal erst nach Computer Auswertung
- Unterschiede in der Thermoregulation verschiedener Tierarten erkennbar
- Pathologische Thermoregulation kann sichtbar gemacht werden
- Trächtigkeiten z.Z. ab Ende des ersten Drittels diagnostizierbar
- Entzündungen bzw. Entzündungsherde lokalisierbar, besonders solche an Gelenken oder Beinen

Nachteile:

- Teure technische Ausrüstung (Infrarot-Kamera und Software)
- Physikalisches Verständnis für die Technik und ihrer Limitierungen muß vorhanden sein, damit Untersuchungen korrekt durchgeführt und Fehlinterpretationen der Befunde vermieden werden können
- Umfassende Kenntnis des Untersuchers in tierartspezifischer Thermoregulation sind erforderlich, sonst könnten tierartliche Besonderheiten mit pathologischen Befunden verwechselt werden
- Nur Oberflächenmessung möglich, keine Tiefenmessungen
- Adaptation der Tiere an die Umgebungsbedingungen vor den Messungen erforderlich
- Abhängigkeiten von Umgebungstemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Sonneneinstrahlung
- Abhängigkeit vom Zustand der Körperoberfläche (Nässe, Verschmutzung, künstliche Aufheizung, künstliche Abkühlung, etc.)
- Abhängigkeit von der Fellfarbe des Tieres beim Arbeiten in der Sonne oder unter ihrem Einfluß
- Abhängigkeit vom Aktivitäts-Zustand des Tieres
- Abhängigkeit von bestimmten Formen der Nahrungsaufnahme des Tieres (Zoo-Fütterungspraktiken)

Erklärung zur Veröffentlichung von Teilergebnissen

Teilergebnisse aus der Dissertation sind veröffentlicht worden. Ein Verzeichnis der wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Vorträge liegen dem Fakultätsrat vor.

Berlin, den 26.10.2000